

THESIS / THÈSE

MASTER EN SCIENCES INFORMATIQUES

Investigation sur l'Ambient Intelligence

Namêche, Adrien

Award date:
2014

Awarding institution:
Universite de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

UNIVERSITÉ DE NAMUR
Faculté d'informatique
Année académique 2013-2014

Investigation sur l'Ambient Intelligence

Adrien Namêche



Maître de stage : prof. John Patrick Gallagher

Promoteur : _____ (Signature pour approbation du dépôt - REE art. 40)
prof. Wim Vanhoof

Mémoire présenté en vue de l'obtention du grade de
Master en Sciences Informatiques.

Résumé

L'Ambient Intelligence est une nouvelle approche multi-disciplinaire des sciences informatiques, qui vise le développement d'environnements intelligents dans le but d'améliorer la vie des individus. Les progrès dans le domaine des technologies de l'information et l'évolution dans les différents domaines en sciences informatiques de ces dernières décennies ont multiplié et diversifié les ressources informatiques.

Aujourd'hui, l'informatique est omniprésente, dissimulée dans des objets utilisés au quotidien en nous assistant silencieusement. Ce phénomène est défini par les concepts de Disappearing Computer et de Ubiquitous et Pervasive Computing. Les progrès dans les domaines d'interactions homme-machine, d'Intelligence Artificielle, la robotique, les réseaux, etc, ont facilité la communication entre l'utilisateur et le système, et ont rendu la machine de plus en plus autonome

Tous ces facteurs ont mené à l'émergence de l'Ambient Intelligence. Ce nouveau concept est une jonction de presque tous les domaines des sciences informatiques. L'Ambient Intelligence enrichi l'environnement avec des capteurs, des actionneurs et un système intelligent, lui permettant de percevoir le monde réel et d'agir pour améliorer la vie des individus. L'environnement intelligent observe, apprend et s'adapte à l'individu pour l'assister de manière appropriée et efficace dans sa vie quotidienne.

Avant Propos

Je souhaite adresser tout d'abord mes remerciements à mon promoteur, professeur Wim Vanhoof, pour son soutien et la confiance qu'il m'a accordée. Je remercie également mon maître de stage, professeur John Patrick Gallagher, pour toute l'aide qu'il m'a apporté pendant mon séjour au Danemark, et notamment l'ensemble de l'équipe du Experience Lab, pour leur accueil chaleureux et leur convivialité. Je remercie également mes proches pour tout le soutien qu'ils m'ont apporté jusque dans les dernières minutes.

Enfin, je remercie mon fils, Valentin, dont le soutien tacite m'a conforté tout au long de mes études et à qui je dédie ce mémoire.

Table des matières

Table des figures	4
Introduction	5
1 Présentation de l’Ambient Intelligence	7
1.1 Ambient Intelligence	8
1.1.1 Description	8
1.1.2 Définition	8
1.1.3 Fonctionnalités attendues	9
1.2 Concepts liés à l’Ambient Intelligence	10
1.2.1 Disappearing Computer	10
1.2.2 Ubiquitous/Pervasive computing	11
1.2.3 Context-Awareness et Entité	12
1.2.4 Smart Environments	12
2 Principaux Rôles de l’Ambient Intelligence	13
2.1 Perception de l’environnement	14
2.2 Interaction Homme-Machine	15
2.3 Raisonnement	16
2.3.1 Interprétation de l’état de l’environnement	17
2.3.2 Représentation de l’information et la connaissance associée à l’environnement	18
2.3.3 Modélisation, simulation et représentation des entités dans l’environnement	18
2.3.4 Planification des décisions ou des actions	18
2.3.5 Apprentissage sur l’environnement et ses aspects associés	19
2.4 Action sur l’environnement	20
3 Architecture	21
3.1 Architecture basique du système Ambient Intelligence	22
3.2 Middleware	25
3.2.1 Interaction spontanée	27
3.2.2 Gestion de contexte	28
3.2.3 Adaptation d’application	29
4 Techniques d’Intelligence Artificielle	30
4.1 Reconnaissance du Contexte	31
4.1.1 Raisonnement Spatio-Temporel	31

4.1.2	Situation Calculus	36
4.2	Apprentissage	37
4.2.1	Identification de Patterns via Data Mining	37
4.2.2	Modèles Graphiques	38
4.2.3	Détection de Nouveauté et l'Habitude	39
5	Domaines d'Applications	41
5.1	Smart Homes	42
5.2	Services de santé	43
5.2.1	Monitoring et assistance de soins	43
5.2.2	Hôpitaux	44
5.3	Transports	45
5.4	Éducation	45
5.5	Lieux de travail	46
5.6	Autres applications	47
5.6.1	Divertissement	47
5.6.2	Supermarché intelligent	47
5.6.3	Guide de musée intelligent	47
6	Discussions	48
6.1	Implication dans la société	49
6.1.1	Vie privée	49
6.1.2	Sécurité	50
6.2	Ambient Intelligence et Installations Interactives	50
6.2.1	The Experience Cylinder	51
6.2.2	Le projet Havhingsten	53
6.2.3	Implémentation	54
6.2.4	Méthodes de raisonnement	54
	Conclusion	57

Table des figures

1.1	Lien entre l'Ambient Intelligence et les autres domaines en Sciences Informatiques.[5]	9
2.1	Processus de l'Ambient Intelligence avec les principales technologies de raisonnement [9].	15
2.2	L'Ambient Intelligence du point de vue de l'Intelligence Artificielle.[35]	20
3.1	Exemple d'un système abstrait de Ambient Intelligence.[4]	24
3.2	Flux de l'information et architecture générale d'un système Ambient Intelligence.[6]	25
3.3	Architecture basique de l'Ambient Intelligence avec le Middleware.[8]	26
4.1	Relations atomiques de la logique temporelle de Allen [22].	33
4.2	Table de Composition de Allen. Détermine les relations possibles entre les objets O_1 et O_3 , étant donné un objet O_2 et les relations r_1 (colonne) et r_2 (ligne) telles que $O_1 \{r_1\} O_2$ et $O_2 \{r_2\} O_3$ [22].	34
4.3	Les 3 relations entre 2 points du Point Algebra [22].	35
4.4	Illustration de l'ensemble des 8 relations RCC [22].	36
6.1	Infrastructure de l'installation du Experience Cylinder. [2]	53

Introduction

L’Ambient Intelligence est une nouvelle approche multi-disciplinaire des sciences informatiques qui vise le développement d’environnements intelligents dont le but est d’améliorer la vie de ses utilisateurs. Les conditions de son apparition sont particulières et la technologie est encore méconnue du grand public.

Les progrès dans le domaine des technologies de l’information et l’évolution dans les différents domaines en sciences informatiques de ces dernières décennies ont multiplié les ressources informatiques et de communication. Le nombre d’ordinateur par foyer a augmenté significativement, et la miniaturisation des microprocesseurs a élargi la diversification des périphériques avec un système embarqué.

Des nouveaux concepts ont vu le jour tels que le Disappearing Computer, l’Ubiquitous Computing, le Context-Awareness, le Machine Learning, l’interaction homme-machine multimodale, etc. Les ordinateurs sont de plus en plus puissants, quelque soit leur taille. Aujourd’hui, l’informatique est omniprésente, dissimulée dans des objets utilisés au quotidien en nous assistant silencieusement. De plus, son utilisation exige de moins en moins d’effort cognitif au point que nous n’en avons plus conscience.

Tous ces facteurs ont mené à l’émergence de l’Ambient Intelligence. Ce nouveau concept est une contribution de presque tous les domaines des sciences informatiques. L’Ambient Intelligence enrichi l’environnement pour le rendre au service des utilisateurs. Un réseau de capteurs et d’actionneurs est dissimulé dans l’environnement intelligent, lui permettant de percevoir le monde réel et d’agir en vue d’améliorer la vie des individus.

Ce mémoire a pour objectif d’analyser l’Ambient Intelligence depuis les premiers concepts jusqu’à ses applications dans la société en passant par ses aspects les plus techniques. Étant donné que ce concept est une approche multidisciplinaire, l’analyse en profondeur de chaque domaine des sciences informatiques impliqués dépasserait les limites du mémoire. Cependant, nous fournissons donc un état de l’art suffisamment complet pour expliquer les différents types de technologies de l’Ambient Intelligence au lecteur informaticien.

La structure du mémoire s’inspire de plusieurs articles de Juan Augusto dont un handbook qu’il a co-écrit [6, 35, 4, 7, 5, 30], et d’autres sources plus spécialisées dans certains domaines informatiques viennent compléter les différentes parties.

Dès lors, l’analyse de l’Ambient Intelligence se structure de la façon suivante :

L’introduction de l’Ambient Intelligence au chapitre 1 fournit les concepts de base nécessaires pour comprendre ses objectifs. Le concept étant relativement récent, il n’existe pas encore une définition standard revendiquée, mais l’approche est caractérisée par les différents domaines des sciences informatiques.

La décomposition des rôles au chapitre 2 donne une vue d'ensemble sur son approche. La description des rôles permet de comprendre le processus de l'Ambient Intelligence dans sa globalité.

Le chapitre 3 définit l'architecture logicielle de manière générale. L'Ambient Intelligence a besoin d'un Middleware pour fonctionner efficacement dans son environnement, nous y décrivons les caractéristiques attendues de cette technologie.

Beaucoup de techniques d'Intelligence Artificielle ont leur utilité pour que le système puisse s'adapter à l'utilisateur. Nous en présentons quelques-unes au chapitre 4 qui représentent la méthodologie du raisonnement.

L'Ambient Intelligence ne vise pas uniquement la maison de l'utilisateur. Des exemples d'implémentations dans différents domaines d'applications sont explicités au chapitre 5.

Avant de conclure, nous discutons des problèmes qui peuvent actuellement empêcher l'adoption de l'Ambient Intelligence dans le chapitre 6. Nous décrivons aussi les installations interactives, une approche voisine de l'Ambient Intelligence qui a motivé l'auteur du mémoire à choisir ce thème.

Chapitre 1

Présentation de l'Ambient Intelligence

L'Ambient Intelligence est née d'une contribution de plusieurs domaines en sciences informatiques dont elle intègre certaines de leurs propriétés. Étant donné son caractère composite, il est donc difficile d'établir une seule et unique définition. Par ailleurs, on trouve plusieurs façons de la définir dans la littérature scientifique. Cependant, l'Ambient Intelligence est considérée comme un concept à part entière que nous spécifions à la section 1.1. Il convient aussi d'expliquer séparément les différentes contributions à la section 1.2 -bien qu'elles soient parfois étroitement liées- pour en dégager les caractéristiques retenues par l'Ambient Intelligence.

1.1 Ambient Intelligence

1.1.1 Description

L'Ambient Intelligence vise le développement des "environnements intelligents" [8] au service des utilisateurs. Autrement dit, cela consiste à augmenter l'environnement physique par des technologies électroniques, informatiques et mécaniques dans le but d'aider intelligemment et efficacement les individus, en exigeant le minimum d'intervention humaine.

Dès lors, un environnement intelligent peut se distinguer d'un environnement ordinaire par les éléments à l'intérieur de celui-ci qui incluent :

- des objets utilisés dans le quotidien qui sont dotés d'un système embarqué ;
- plusieurs capteurs qui récoltent différents types d'information du monde physique en continu ;
- des actionneurs qui sont répartis à travers l'environnement, prêts à modifier son état ;
- le tout étant relié et coordonné par un système informatique intelligent, capable d'adapter l'environnement de manière autonome au comportement de l'utilisateur pour anticiper et répondre à ses besoins.

De plus, à tout moment l'utilisateur peut interagir de façon naturelle (e.g. par la voix ou les gestes) avec le système.

La priorité de l'Ambient Intelligence est d'améliorer la vie de l'utilisateur, en intervenant intelligemment et efficacement uniquement lorsque la situation le requière. Pour intervenir intelligemment, le système doit non seulement percevoir l'environnement et apprendre le comportement de l'individu, afin de reconnaître des contextes sur base des informations recueillies ; mais aussi prendre les décisions sur les actions, qui sont soit exécutées immédiatement, soit planifiées, toujours dans l'intérêt de l'individu. On dit alors que l'environnement intelligent est sensible et pro-actif.

1.1.2 Définition

La description au point précédent révèle la difficulté à déterminer une seule définition à l'Ambient Intelligence. En effet, ce concept couvre plusieurs domaines des sciences informatiques dont les plus pertinents, illustrés à la figure 1.1, incluent [4, 15, 5] : les réseaux (Middlewares inclus), les capteurs et actionneurs, l'intelligence artificielle, l'interaction homme-machine, le "Pervasive Computing" et "Ubiquitous Computing". Dès lors, l'Ambient Intelligence est

paradigme qui demande une collaboration entre toutes ces technologies et ne doit pas être confondu avec uniquement l'une ou l'autre d'entre-elles.

L'Ambient Intelligence désigne donc une approche multi-disciplinaire qui étudie le développement de l'environnement intelligent dont le but est de fournir des services aux individus qui y résident. Nous empruntons la définition de l'Ambient Intelligent à Augusto et utilisée par Cook [4, 15] :

"A digital environment that proactively, but sensibly, supports people in their daily lives."

Par ailleurs, nous distinguons l' "environnement intelligent" (ou "Smart Environment"), de l' "Ambient Intelligence" dans le sens où, selon Augusto [8], le premier terme désigne *l'infrastructure physique (capteurs, actionneurs et réseaux) supportant le système.*

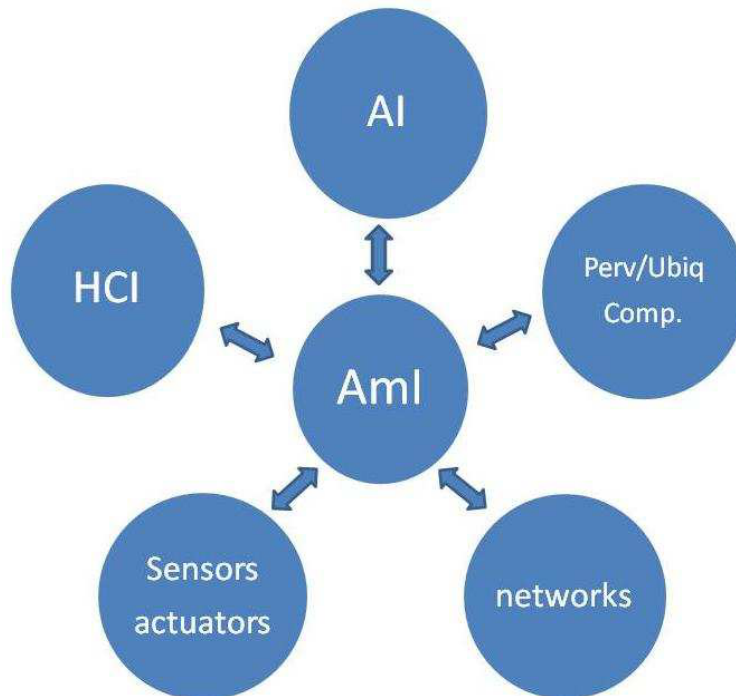


Fig. 1.1 – Lien entre l'Ambient Intelligence et les autres domaines en Sciences Informatiques.[5]

1.1.3 Fonctionnalités attendues

Cook a confronté différentes définitions de l'Ambient Intelligence pour en déceler les principales propriétés : *sensible, réactif, adaptif, transparent, ubiquitaire et intelligent*. [15] Selon Cook, les propriétés du *sensible, réactif et adaptif*, s'apparentent au "context-aware computing", un concept nécessaire à l'Ambient Intelligence pour percevoir et comprendre le monde réel. De plus, la *transparence* dans un environnement intelligent se rapporte au concept du "disappearing computer", lui-même lié au concept de "Ubiquitous Computing". Ces derniers concepts apportés par Weiser[43] sont définis à la section suivante. Enfin, il

est évident que la propriété du *intelligent* désigne le domaine de l'Intelligence Artificielle, un aspect indispensable.

L'Ambient Intelligence décompose l'interaction entre l'environnement et le système selon 3 grandes tâches : *percevoir*, *raisonner* et *agir*. Tout d'abord, l'environnement physique et le résident sont *perçus* via les capteurs de mesures, de vision (e.g. camera) et d'audio (e.g. micro, piézoélectrique) qui envoient les données au système. Les premières phases du système consistent à représenter les données reçues sous forme d'informations et de connaissances de l'état de l'environnement afin d'être en mesure d'inférer.

Ensuite, au cours du *raisonnement*, le contexte et les entités de l'environnement sont modélisés et inférés via des méthodes d'IA et de Machine Learning pour reconnaître le comportement de l'individu et déterminer les réactions possibles du système. La prise de décision est aussi une étape non-triviale et peut s'effectuer avec les méthodes précédentes, ou en utilisant, par exemple, des techniques de simulation avec des systèmes Multi-Agent, puis s'achève au processus de planification.

Enfin, avant d'*agir*, les actions sont généralement planifiées via un processus complexe. Ce traitement doit être capable de prendre les meilleures décisions en combinant plusieurs processus, comme :

- examiner les tâches en cours et déjà planifiées ;
- décider du meilleur moment pour exécuter des actions ;
- considérer les événements inattendus pour maintenir la réactivité du système.

prendre en compte les tâches déjà planifiées ; décider du meilleur moment pour exécuter des actions ; tout en considérant les événements inattendus pour maintenir la réactivité du système. L'analyse de ces rôles est proposée au chapitre suivant 2 où nous résumons le fonctionnement à travers des méthodes d'IA [35].

1.2 Concepts liés à l'Ambient Intelligence

Comme mentionné précédemment, l'Ambient Intelligence se base sur les concepts de *Disappearing computer* et *Ubiquitous/Pervasive Computing*. Le *Context-awareness* est fondamental dans un environnement intelligent, *Smart Environment*, qui est le siège du Ambient Intelligence. La description de ces concepts permet de comprendre l'origine de cette approche.

1.2.1 Disappearing Computer

Le *Disappearing Computer* est un concept défini par Mark Weiser dans [44]. Bien que ce dernier n'en fournit pas une définition formelle, la communauté scientifique, dont Cook et al. [15], utilise sa célèbre citation :

” *The most profound technologies are those that disappear. They weave themselves into the fabric of everyday life until they are indistinguishable from it*”. [44]

Toujours selon Mark Weiser, la technologie informatique devient invisible si, non seulement elle s'intègre et se fond dans notre environnement, mais aussi qu'elle est simple à manipuler et à s'y habituer au point que l'individu l'utilise sans en avoir conscience. Par "simple", nous entendons que l'utilisateur atteint son but

ou obtient l'information désirée sans effort de concentration et d'actions pour accomplir la tâche. La technologie se fond alors dans l'environnement et améliore le quotidien de l'individu de façon transparente. Dès lors, l'idée du "*Disappearing Computer*" ne se limite pas uniquement à une évolution technologique, mais est aussi liée à la psychologie de l'individu et son acceptation.

Il est évident que l'infrastructure physique de l'Ambient Intelligence doit être discrète pour ne pas troubler les habitudes de l'utilisateur. De plus, les progrès en Interaction Homme-Machine contribuent favorablement à cet objectif : non seulement les interactions deviennent de plus en plus proche du naturelle, mais aussi, l'utilisateur peut de plus en plus se passer des périphériques et interfaces fastidieux (Desktop OS, écran, clavier et souris).

1.2.2 Ubiquitous/Pervasive computing

Le concept précédent a mené Weiser et ses collègues au PARC (Palo Alto Research Centre) à élaborer les concepts de *Ubiquitous* et *Pervasive Computing*. Ces domaines se basent le phénomène de diversification et prolifération de la technologie. En effet, le PC traditionnel évolue vers des systèmes informatiques mobiles, embarqués et distribués. Ces dispositifs se répandent discrètement dans notre environnement et nous les utilisons, parfois, sans en prendre conscience.

Certains scientifiques considèrent ces termes interchangeable. Cook, Augusto et al. [15, 4] les différencient par leurs définitions dans le dictionnaire Oxford et ajoutent que IBM a attribué le terme "Pervasive Computing" comme autre appellation du "Ubiquitous Computing". Bien que ces 2 notions partagent des éléments clés, l'article [19] de Dillon rappelle la différence de leur signification. Le concept *Ubiquitous Computing* désigne "l'informatique partout" par l'abondance des ressources disponibles dans l'environnement, la possibilité de communication entre les différents périphériques mobiles et fixes. Alors que le concept *Pervasive Computing* désigne l'ensemble des outils, des supports répartis partout dans l'environnement pour permettre l'accès aux ressources. Donc, nous considérons que Ubiquitous et Pervasive Computing sont complémentaires. Le premier nécessite que l'information soit omniprésente, tandis que le second rend l'information disponible partout.

Dès lors, dans la suite, nous utiliserons le terme Ubiquitous/pervasive afin noter la combinaison des deux notions. L'Ambient Intelligence ajoute l'aspect intelligence à ces notions.

Remarques : Mark Weiser est considéré comme le père de l'Ubiquitous Computing, concept qu'il a introduit en 1988 [45]. Il voyait déjà un futur où les ordinateurs ne se limiteraient pas au PC, mais sont réduits, invisibles, inter-connectés et embarqués dans différents objets de notre environnement, définissant ainsi le Ubiquitous Computing. Dans son article "*The Computer for the 21st Century*" [44] datant de 1991, s'appuyant sur son concept de "Disappearing Computer", il y décrit ses prévisions sur l'évolution des ordinateurs et des futures utilisations, qui se concrétisent en effet progressivement à notre époque. En 91, il existait déjà des ordinateurs embarqués (et invisibles) dans des objets de l'environnement comme par exemple des interrupteurs de lampes, des thermostats etc. Mais pour envisager un réseau Ubiquitous Computing, ces ordinateurs doivent se répandre d'avantage à travers les objets et être inter-connectés.

Weiser et ses collègues mettent aussi en évidence deux facteurs cruciaux du Ubiquitous Computing : la localisation et l'échelle. D'une part, ces derniers doivent être conscients de leur position pour, par exemple, adapter leur comportement selon la pièce où ils se trouvent. D'autre part, ils doivent être de différentes tailles, chacune servant à une tâche particulière, pour ainsi multiplier le nombre de dispositifs, voire une centaine au sein d'une même pièce. Bien entendu, les équipements et les câbles sont camouflés afin que l'utilisateur utilise les ordinateurs sans s'en apercevoir. Weiser insiste sur le fait que l'Ubiquitous Computing consiste en uniquement un ensemble d'ordinateurs embarqués inter-connectés sans nécessairement une intelligence artificielle révolutionnaire. Ses expériences du ubiquitous computing se faisaient sur des "tablet", des tableaux partagés, etc, d'où il en a tiré cette conclusion : " *Prototype tabs, pads and boards are just the beginning of ubiquitous computing. The real power of the concept emerges from the interaction of all of them.* " [44]

1.2.3 Context-Awareness et Entité

Le *contexte* ne semble pas avoir de définition officielle ; nous proposons donc la plus utilisée [26, 38, 39] qui donne aussi la définition d'une *entité* dans l'environnement, terme que nous utiliserons souvent. Un contexte est défini par

"any information that can be used to characterize the situation of an entity. Entities can be considered to be persons, places, or any object that is considered relevant to the interaction between a user and an application, including the user and applications themselves."

De plus, 2 types de contexte peuvent être distingués [26]. :

le *contexte interne*, représente l'état de l'utilisateur comme son émotion, ses relations sociales.

le *context externe*, représente l'état de l'environnement comme la temporalité, la localisation.

Cependant, nous verrons que d'autres informations de contexte plus complexe peuvent être construite par fusion de données des capteurs, comme par exemple l'intention de l'utilisateur.

1.2.4 Smart Environments

Cook décrit les Smart Environments comme l'Ambient Intelligence, mais en mettant l'accent sur la technologie et l'infrastructure utilisée [16]. Tout comme Augusto [8, 7], nous distinguons les significations de *Ambient Intelligence* et *Smart Environment*, où ce dernier désigne l'environnement enrichi par des capteurs, actionneurs et réseaux, autrement dit l'infrastructure physique qui supporte le système.

Chapitre 2

Principaux Rôles de l’Ambient Intelligence

Contents

1.1	Ambient Intelligence	8
1.1.1	Description	8
1.1.2	Définition	8
1.1.3	Fonctionnalités attendues	9
1.2	Concepts liés à l’Ambient Intelligence	10
1.2.1	Disappearing Computer	10
1.2.2	Ubiquitous/Pervasive computing	11
1.2.3	Context-Awareness et Entité	12
1.2.4	Smart Environments	12

Les récentes avancées technologiques ont permis la miniaturisation, la diversification et la multiplication des systèmes informatiques embarqués. De nos jours, ces systèmes sont répandus autour de nous, depuis la simple montre (Smart Watch) ou la paire de lunettes (e.g. Google-Glass), à la maison (Smart Home), en passant par les téléphones (Smart Phone), télévisions (Smart TV), appareils électroménagers, voitures, etc. Les chercheurs définissent cette situation par les concepts de Pervasive et Ubiquitous Computing.

De plus, l'évolution dans les différents domaines en sciences informatiques tend à rendre ces systèmes de plus en plus autonomes, intelligents et simple à utiliser. Des applications permettent d'automatiser le comportement de un ou plusieurs appareils qui contribuent à améliorer le quotidien des utilisateurs, avec ou sans intervention humaine. En outre, l'interface homme-machine devient plus adapté et plus proche du comportement humain. Par exemple, un ordinateur peut être contrôlé par les gestes ou la parole, puis répondre oralement, ou via un affichage épuré sur un écran tactile qui peut être incrusté dans n'importe quel objet de l'environnement.

Dès lors, les progrès en domotique, Pervasive-Ubiquitous Computing, Intelligence Artificielle, réseaux et middleware, Interface Homme-Machine, et développement des capteurs ont donné naissance aux environnements intelligents et l'Ambient Intelligence. Le système intelligent peut être considéré comme un majordome qui prend soin de cet environnement et offre ses services au résident. Concrètement, pour agir intelligemment, ce majordome (agent intelligent) doit surveiller l'environnement, pour ensuite raisonner pour prendre la meilleure décision dans l'intérêt du résident, ce processus est représenté à la figure 2.1.

Dans ce chapitre, nous définissons les principaux rôles de l'Ambient Intelligence. Comme l'humain, l'Ambient Intelligence est doté de sens, des capteurs, pour percevoir son environnement avec toutes les entités physiques qu'il contient. La section 2.1 décrit l'usage des capteurs. Le système doit servir l'utilisateur selon ses ordres, la section 2.2 décrit l'interaction entre eux. Le raisonnement intervenant à plusieurs niveaux du système, la section 2.3 donne un aperçu des méthodes utilisées sans prétention technique. Enfin, suite aux décisions du système, l'état de l'environnement peut être modifié par des actionneurs dont des exemples sont présentés à la section 2.4.

2.1 Perception de l'environnement

L'Ambient Intelligence perçoit l'environnement via des capteurs typiquement assez petits pour être cachés et répartis dans l'environnement. Les capteurs sont primordiaux pour établir le lien entre l'Ambient Intelligence et le monde physique, étant donné que l'intelligence artificielle utilise les données sensorielles du monde réel [15].

Les capteurs prélèvent en continu des mesures sur l'état de l'environnement et l'utilisateur. Des capteurs sont conçus pour la mesure de pression, force, l'humidité, la température, les radiations, les vibrations, le son (capteur piézoélectrique), la lumière (capteur optique), la propriété des fluides, la physiologie (couplé à un moniteur de santé par exemple) [15, 29]. En plus de ces prélèvements, les capteurs de vision (e.g. la caméra) permettent au système de voir l'environnement via l'analyse des images acquises. Le domaine du Computer

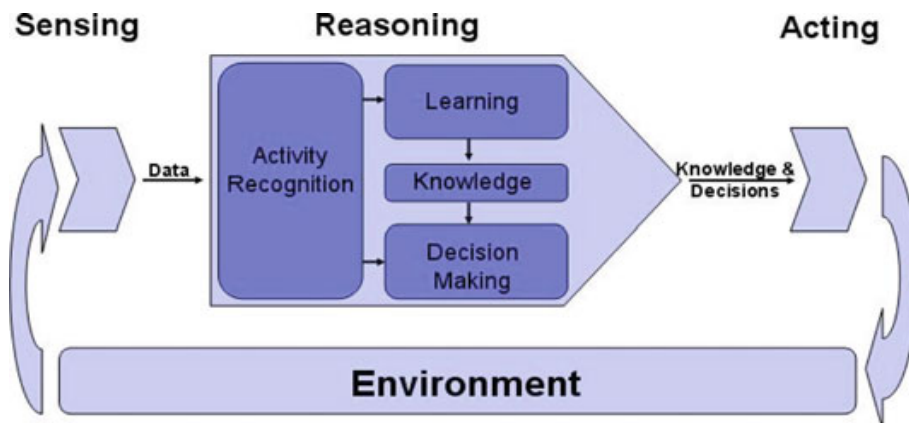


Fig. 2.1 – Processus de l’Ambient Intelligence avec les principales technologies de raisonnement [9].

Vision fournit des techniques d’analyse d’image ou de flux d’images, la reconnaissance d’objets et de scènes [35], et donc des outils précieux dans le cadre du Context-Awareness. Il est notamment possible de reconnaître des émotions humaines par la reconnaissance d’expression faciale.

2.2 Interaction Homme-Machine

L’interaction Homme-Machine est un important domaine en sciences informatiques et un des aspects fondamentaux de l’Ambient Intelligence. Toutefois, l’interaction entre l’utilisateur et le Smart Environment est partagée entre deux points de vue [8]. D’une part, l’Ambient Intelligence tend à réduire l’interaction humain-machine explicite. Dès lors, le système est suffisamment intelligent pour prédire les besoins de l’utilisateur, grâce à la reconnaissance de situation (Context-Awareness), et agir en conséquence. L’Ambient Intelligence dispose d’une panoplie de techniques d’intelligence artificielle pour raisonner et prendre des décisions, comme nous le verrons au point suivant. D’autre part, certains utilisateurs souhaitent aussi interagir directement avec le système. Dès lors, les recherches et développements en HCI permettent de rendre la communication plus proche du naturel.

Butz [13] met en évidence la différence entre les paradigmes PC et Ambient Intelligence concernant les périphériques Input/Output. Avec le paradigme PC, la variété des périphériques traditionnels, comme l’écran, le clavier et la souris, est limitée et leur utilisation est standardisée. Alors que dans le domaine de l’AmI, la variété des périphériques est plus large et l’éventail d’interactions possibles est bien plus importante. En effet, l’utilisateur peut interagir avec l’environnement intelligent *en utilisant tout son corps et ses sens* [13]. Notons aussi la présence des capteurs qui peuvent avoir une influence dans l’interaction. Par conséquent, le Smart Environment doit reconnaître des contextes à partir d’un large flux d’informations liées à l’interaction, ce qui rend plus complexe les processus de développement et d’évaluation en Ambient Intelligence que nous évoquerons au chapitre 6.

Face à cette situation, López-Cózar et Callejas proposent dans [26] d’em-

ployer les "*Multimodal Dialogue Systems*". Ce type de système fournit plusieurs moyens d'interaction entre l'humain et l'ordinateur via plusieurs technologies Input/Output. Par exemple, l'utilisateur peut communiquer avec le système via plusieurs modalités d'Input comme la *reconnaissance vocale*, la *reconnaissance des gestes*, de *l'expression faciale*, de *lecture sur les lèvres* en plus des interfaces traditionnelles (écran tactile par exemple). Ensuite, le système peut répondre via plusieurs modalités d'Output, comme par exemple la génération de texte en langage naturel ou la synthèse vocale couplée à la technologie Text-To-Speech (TTS), ou encore la *génération de graphique*, *sons*, *retour tactile/haptique*.

Les modalités de dialogue peuvent être choisies par l'utilisateur ou le système. Le premier peut paramétrer ses préférences, comme par exemple la langue, la modalité de communication (par exemple, vocale ou par écrit), le type de voix (féminin ou masculin), etc, et donc le système utilisera son profil dans les applications. Tandis que le système peut générer un modèle de l'utilisateur à la volée pendant l'exécution en analysant son comportement. Cette méthode, appelée "*online user modelling*", permet au système de choisir les modalités de Input/Output de manière appropriée et cohérente, selon le besoin et le contexte.

En outre, plusieurs modalités de dialogue peuvent être combinées afin d'améliorer l'efficacité de la communication. Par exemple, la combinaison de plusieurs modalités d'Input aident à améliorer le modèle de l'interaction. En effet, les informations obtenues des différentes modalités d'Input, soit se complètent et *enrichissent le modèle*, soit ont de la redondance et *augmentent la précision* et la fiabilité du modèle. De plus, les multiples modalités de dialogue donnent au système une grande capacité d'adaptation, ce qui permet notamment de faciliter l'accès à des personnes avec un handicap. Dès lors, le système est capable de s'adapter aux conditions de l'environnement comme la lumière, l'acoustique et le besoin d'intimité.

Des Multimodal Dialogue Systems ont été conçus pour de nombreuses applications, comme par exemple en robotique ou en domotique (le système GENIO par exemple [20]). Cependant, l'identification et le *tracking* individuel, lorsque plusieurs utilisateurs cohabitent dans le même Smart Environment, restent un challenge que nous discuterons au dernier chapitre 6. Les méthodes de la gestion du dialogue, incluant la modélisation et le traitement des données en Input, les stratégies d'interaction et la génération de réponse, seront détaillées au chapitre 4.

2.3 Raisonnement

Cette section fournit juste la description du raisonnement à différents niveaux du système d'Ambient Intelligence. L'aspect plus technique concernant les méthodes et techniques d'intelligence artificielle et de Machine Learning, est présentée au chapitre 4.

Le challenge du développement de l'intelligence de l'Ambient Intelligence est de s'assurer que ce dernier sera capable, une fois sorti du laboratoire, d'affronter les incertitudes de la vie dans le monde réel [8]. Pour ce faire, le Smart Environment doit être capable de détecter les situations et y répondre adéquatement. Toujours selon Augusto et al. [8], le Smart Environment est considéré comme réellement intelligent s'il est capable de : "*(a) learn habits, preferences and needs of the occupants, (b) correctly diagnose situations, (c) be aware of where and*

when the events of interest occur, (d) integrate mobile elements like robots, and (e) provide a structured way to analyze, decide and react over that environment."

Rappelons que l'Ambient Intelligence inclut le concept de Context-Awareness ; donc, si nous analysons à n'importe quel moment le Smart Environment, Augusto [4] suggère que celui-ci doit répondre aux fameux "5 Ws" (Who, Where, When, What, Why), un principe de conception :

- *Who* : Vise l'identification des entités pertinentes au sein de l'environnement. Par exemple, l'utilisateur, un animal ou un robot, ainsi que les relations sociales.
- *Where* : Concerne la track de l'utilisateur pour pouvoir le localiser dans l'environnement, voire aussi à l'extérieur. Ses déplacements sont aussi des renseignements utiles. Donc toute information spatiale.
- *When* : Concerne l'ordonnancement des activités, des événements, leur fréquence, durée, etc. La dimension du temps est fondamentale pour la compréhension et la prédiction des activités. Donc toute information temporelle.
- *What* : Concerne la reconnaissance d'activité. L'Ambient Intelligence est capable de reconnaître un scénario pendant le déroulement de l'activité en utilisant une logique spatio-temporelle.
- *Why* : Car l'Ambient Intelligence est en mesure de comprendre les intentions du résident et est capable d'anticiper ses besoins. Le système progresse pour toujours mieux servir l'utilisateur grâce à l'apprentissage et l'analyse de contexte.

Les réponses à ces questions permettent d'établir des informations contextuelles complètes à partir des données obtenues par les capteurs. Dès lors, ces informations permettent au système de raisonner pour prendre la décision d'agir dans le meilleur intérêt de l'utilisateur, afin de comprendre l'acheminement des informations vers le "cerveau" du système jusqu'à l'action qu'il va entreprendre. Ramos et al. [35] présentent les étapes de raisonnement essentielles à l'Ambient Intelligence, ainsi que des exemples de techniques d'Intelligence Artificielle. Nous les résumons ci-dessous en mentionnant aussi les techniques d'Intelligence Artificielle listées par Cook et al [15].

2.3.1 Interprétation de l'état de l'environnement

Comme vu précédemment, l'ensemble des capteurs fournissent un grand volume de données brutes. Les signaux sont souvent traités directement au niveau du capteur, alors que les données brutes peuvent être traitées à partir d'une couche "Middleware" (chapitre 3.2). Des méthodes de raisonnement permettent de pré-traiter certains types de donnée complexe, par exemple la reconnaissance vocale qui traite les données audio brutes pour fournir de l'information sur les sons captés. La reconnaissance faciale fait partie du domaine du *Computer Vision* qui permet d'automatiser la vision. Cette science fournit des techniques de traitement d'image et de flux d'images acquises via un capteur de vision. Le Computer Vision inclut aussi des domaines comme la reconnaissance d'émotion, d'objet, l'analyse de scène, de mouvement, etc.

2.3.2 Représentation de l'information et la connaissance associée à l'environnement

Des techniques de raisonnement sont utilisées pour résoudre les problèmes de *complétude* et d'*incertitude* sur les données reçues, comme par exemple [37] les *Bayesian Networks*, *fuzzy logic*, *rough sets*. La représentation de la connaissance est un des aspects les plus importants en Ambient Intelligence, en utilisant des techniques telles que *information retrieval*, *text mining*, les *ontologies* et le *web sémantique*. De plus [15], les données poursuivent un traitement, via *data-mining* par exemple, pour identifier des patterns afin de construire un *modèle du comportement de l'utilisateur*. Ce dernier peut être construit, par exemple, avec le *modèle hiérarchique*, *Markov*, ou encore par *apprentissage de règles fuzzy logic* à partir des actions de l'utilisateur. Il est possible de construire le modèle depuis les données vidéos par la recherche de *intertransaction association rules*. De même avec les données audio, le *speech detection* aide à générer des relations sociales entre individus. Dès lors, le modèle construit à partir de l'identification de patterns permet d'identifier des changements de comportement ou des anomalies. De cette manière, les connaissances sur l'utilisateur se précisent et permet au Smart Environment de s'adapter.

2.3.3 Modélisation, simulation et représentation des entités dans l'environnement

Le *Multi Agent System* (MAS) permet de modéliser efficacement l'environnement (e.g. les pièces d'une maison) et les entités (e.g. les individus, la voiture, ...). Cette technique aide non seulement à modéliser le monde réel, mais aussi l'aspect social, ce qui fournit une base pour effectuer des simulations. En outre [15], la modélisation des activités de l'utilisateur, via par exemple des techniques de Machine Learning, donne la capacité de reconnaître et prédire les activités pour anticiper les besoins de l'utilisateur et l'assister dans ses tâches quotidiennes.

2.3.4 Planification des décisions ou des actions

L'Intelligence Artificielle est très présente dans les problèmes de planification afin de trouver les solutions pour atteindre un but précis [37, 10]. Différentes stratégies de planification et d'exécution des tâches existent :

- online ou offline : les plans sont élaborés, respectivement, pendant ou avant l'exécution.
- deliberative : planifie et exécute le plan sans tenir compte d'événements inattendus.
- reactive : réagit aux événements inattendus.
- hybride : combine deliberative et reactive selon des politiques.

La planification est souvent accompagnée de techniques d'optimisation avec des algorithmes de recherche comme par exemple : les *algorithmes génétiques*, *algorithme de la fourmière*, *taboo search*, *simulated annealing*, et *particle swarm intelligence*. D'autres techniques peuvent être utilisées [15, 37], voici quelques exemples succincts de leur application : la *logique temporelle* (abordée au chapitre 4.1) associée à un système de règles a permis de ramener un environnement

jugé instable (détection d'une situation hasardeuse) à un état stable ; les *réseaux neuronaux* avec *reinforcement learning* arrivent à contrôler de manière optimale un ensemble de lampes et ventilateurs ; méthode d'*apprentissage de fuzzy rules* basé sur l'observation permet d'automatiser les habitudes de l'utilisateur ; *hierarchical task network (HTN)* réalise un objectif donné en organisant les plans et les séquences d'actions, tout en envisageant les alternatives, pour atteindre son but.

2.3.5 Apprentissage sur l'environnement et ses aspects associés

Le Smart Environment apprend, via principalement des techniques de Machine Learning, en observant l'utilisateur. Cela permet au système d'agir dans l'intérêt de l'utilisateur sans l'importuner avec des interventions qu'il ne souhaite pas. Dès lors, avec la reconnaissance d'action à partir des nombreuses informations de contexte récoltées par différents types capteurs, le modèle des activités augmente son catalogue et s'affine par des techniques de Machine Learning comme [10, 37] les *naive bayesian classifiers* ou l'*apprentissage de descriptions logiques d'activité via un arbre de décision* [15]. D'autres méthodes permettent de reconnaître une activité en utilisant des probabilités de séquence d'évènements provoqués par les capteurs, calculées via [10] les *modèles de Markov*, *dynamic Bayes Network* et *conditional random fields*.

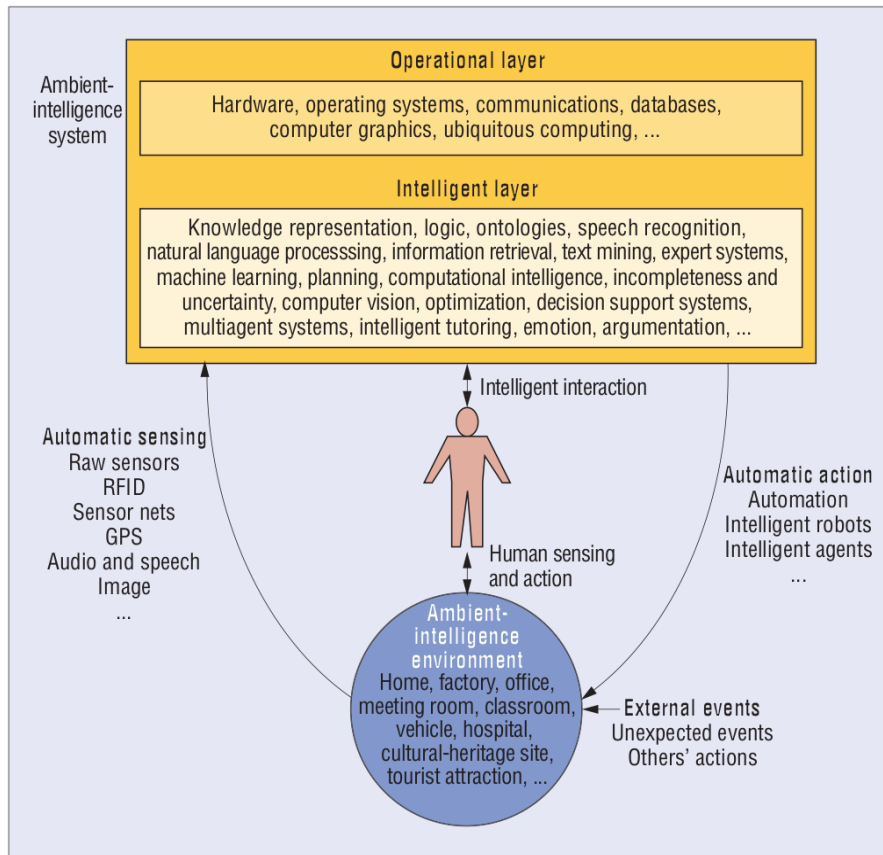


Fig. 2.2 – L’Ambient Intelligence du point de vue de l’Intelligence Artificielle.[35]

2.4 Action sur l’environnement

Suite au raisonnement, le système a pris la décision d’agir sur l’environnement. L’exécution des actions affecte aussi les utilisateurs. Cooks, Augusto et al [15, 35] évoquent la présence des robots qui communiquent aussi bien avec les humains que l’environnement intelligent. Les progrès en robotique améliorent de plus en plus la capacité du robot à agir de manière autonome. Les robots assistent l’Ambient Intelligence et l’utilisateur dans les tâches à accomplir. Il existe déjà des robots assistants dans les maisons de repos qui sont capables de se déplacer seul pour exécuter un ordre et de communiquer avec les personnes âgées

Chapitre 3

Architecture

Contents

2.1	Perception de l'environnement	14
2.2	Interaction Homme-Machine	15
2.3	Raisonnement	16
2.3.1	Interprétation de l'état de l'environnement	17
2.3.2	Représentation de l'information et la connaissance associée à l'environnement	18
2.3.3	Modélisation, simulation et représentation des en- tités dans l'environnement	18
2.3.4	Planification des décisions ou des actions	18
2.3.5	Apprentissage sur l'environnement et ses aspects as- sociés	19
2.4	Action sur l'environnement	20

Actuellement, l'Ambient Intelligence manque encore d'outils et de standards pour concevoir ce type de système. Cependant, les progrès dans les différents domaines des Sciences Informatiques évoluent dans le sens du Ubiquitous/Pervasive Computing ; il y a donc bon espoir. La difficulté à concevoir un système Ambient Intelligence est d'autant plus grande que le nombre de nouvelles technologies ne cesse de croître. La conception du système, comme le reste du processus de développement, doit concentrer toute son attention sur l'utilisateur.

De plus, une des caractéristiques fondamentales à satisfaire est le Context-Awareness. Dès lors, l'architecture doit prendre en compte toutes entités de l'environnement qui entourent et interagissent avec l'utilisateur, ce qui peut inclure les personnes, les animaux, le mobilier, les voitures, les objets connectés, les périphériques mobiles, en passant par tous les types capteurs, et bien entendu, l'utilisateur et le système lui-même. En d'autres mots, tout élément permettant de caractériser la situation afin de construire un contexte.

En 2007, Augusto [4] a proposé un modèle d'architecture que nous explorons à la section 3.1. Les capteurs génèrent un flux considérable de données hétérogènes. Le Middleware joue un rôle crucial dans le traitement de ces données pour permettre aux composants logicielles d'interpréter et raisonner sur des informations de contexte. La section 3.2 discute des caractéristiques de la couche Middleware. La dernière section présente des exemples qui mettent en pratique l'architecture et le Middleware dans certains scénarios.

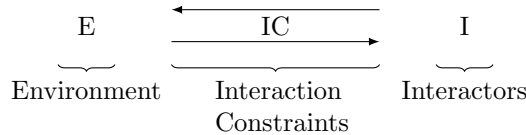
3.1 Architecture basique du système Ambient Intelligence

Actuellement, la conception de systèmes Ambient Intelligence manque de convention standard. Nous décrivons ici un formalisme basique proposé par Augusto [4] qui est suffisant pour décrire plusieurs scénarios. Dès lors, Augusto définit formellement un système Ambient Intelligence de la façon suivante :

Un système Ambient Intelligence est défini par un triplet :

$$AmISystem = \langle E, IC, I \rangle$$

tel que :



où :

E représente l'environnement avec tous les objets physiques qu'il peut reconnaître, par exemple une porte, un évier, une table, etc. La description est détaillée selon les besoins.

IC spécifie les contraintes d'interaction entre les éléments de E et de I. Ces contraintes sont définies par un quadruplet $IC = \langle S, A, C, IR \rangle$ où

S est l'ensemble des capteurs où chaque capteur est représenté par une fonction qui renvoie soit un booléen, soit un nombre réel, selon le type de capteur (par exemple un bouton on/off ou un thermostat). Bien que des capteurs audio et vidéo nécessitent des fonctions plus sophistiquées étant donné la complexité de leurs input, ils seront considérés comme de simple type de capteur.

A est l'ensemble des actionneurs qui agissent mécaniquement sur l'environnement. Par exemple un interrupteur de soufflerie.

C est l'ensemble des contextes d'intérêt où chaque contexte correspond à une proposition booléenne décrivant une situation particulière. Les propositions satisfont le concept de Context-Awareness et elles décrivent donc l'état des capteurs, les utilisateurs, les objets impliqués, la localisation, le temps, et toute autre information pertinente au contexte.

IR est l'ensemble des règles d'interaction, écrites dans un langage logique, de préférence spatio-temporelle. Ces propositions s'apparentent à une causalité qui met en relation les éléments des autres ensembles et qui définissent l'effet de ces relations.

I est l'ensemble des interacteurs, i.e. les entités physiques qui interagissent avec le système. Par exemple, des individus, des animaux, des robots. Si un interacteur ne peut pas être identifié, il est considéré comme anonyme, ou bien il peut être assigné à un groupe spécifique, par exemple le groupe des aides soignants.

Augusto fournit un exemple de système Ambient Intelligence abstrait, illustré à la figure 3.1. Les éléments de la définition y sont représentés. L'environnement appartient à la couche physique et contient 3 actionneurs, 2 capteurs, 4 objets physiques, et un individu. À la couche logique se trouvent les contextes d'intérêt et les règles d'interaction. Les 2 couches sont reliées par les règles d'interaction qui, d'une part, associent les éléments dans l'environnement à des contextes spécifiques, d'autre part, lorsque les conditions sont réunies, appliquent les effets sur l'environnement.

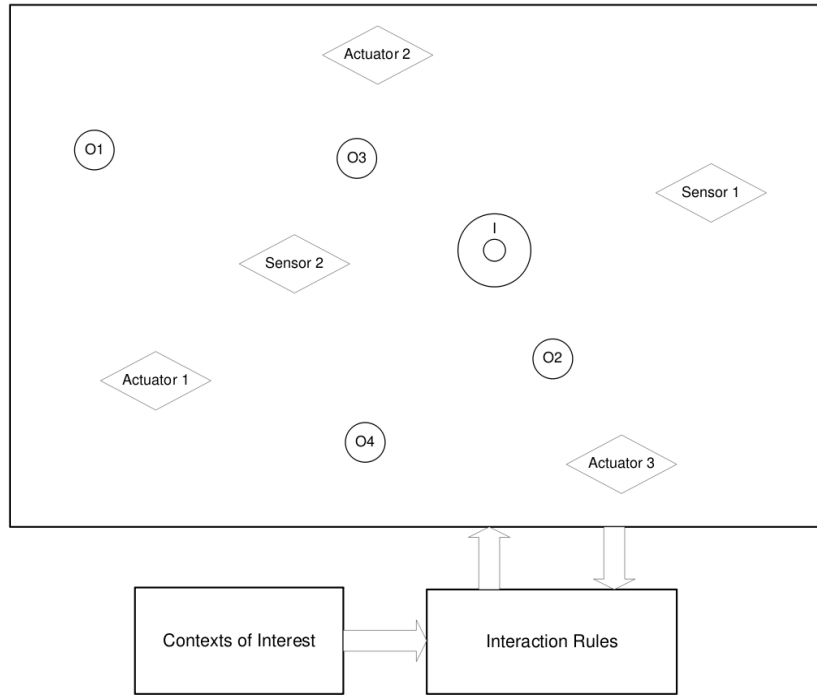


Fig. 3.1 – Exemple d'un système abstrait de Ambient Intelligence.[4]

Prenons l'exemple d'une SmartHome habitée par une personne avec une santé fragile. L'environnement E représente la maison dont les pièces contenant des capteurs et des actionneurs sont prises en charge par le système. Des objets tels que les portes, les meubles, et d'autres peuvent être considérés par le système. L'habitant est, bien entendu, un interacteur I identifié de manière unique. De même, les intervenants externes, comme les aides soignants, sont assignés à un groupe spécifique avec un numéro de téléphone comme propriété d'interacteur.

Dans les conditions d'interaction IC , l'ensemble des capteurs C contient des capteurs de mouvement dans les pièces et à l'entrée de la maison, un détecteur de fumée, un détecteur de mise en marche à la cuisinière, un capteur de pression au lit. L'ensemble des actionneurs comporte un interrupteur sur la cuisinière, sur la télévision, un système d'ouverture de porte à l'entrée de la maison, un système d'appel téléphonique automatique.

Le coeur du système gère les contextes C , par exemple "l'habitant est dans son lit", "la cuisinière est allumée", "une personne est à l'entrée de la maison", ou encore "un aide soignant a été contacté". Les règles d'interaction IR permettent la dynamique du système avec des règles logiques comme "Si l'habitant est dans son lit depuis 20 minutes et la cuisinière est allumée depuis 30 minutes et qu'il n'a aucune réaction malgré les notifications, alors éteindre la cuisinière et appeler le service d'aide soignant".

En outre, le cycle du système Ambient Intelligence consiste à faire circuler les informations obtenues depuis les capteurs jusqu'au centre logique où elle sera traitée par différentes méthodes d'Intelligence Artificielle, pour ensuite décider

s'il est nécessaire d'intervenir dans l'environnement via les actionneurs. Ces étapes de raisonnement ont été mentionnées au chapitre 2.

La figure 3.2 résume le cheminement de l'information dans le système en rapport avec l'activité de l'utilisateur. Typiquement, les capteurs dans l'environnement se déclenchent à cause de l'activité de l'habitant et transmettent les données au moteur de raisonnement. Ce dernier rassemble les données pour identifier le contexte, analyser l'activité et enrichir la base de connaissance. Les informations comme la fréquence des activités et les décisions qui ont déjà été prises sont utiles pour continuer à apprendre sur l'environnement. Dès lors, le raisonnement s'affine et améliore les prises de décision sur les actions qui vont affecter l'environnement.

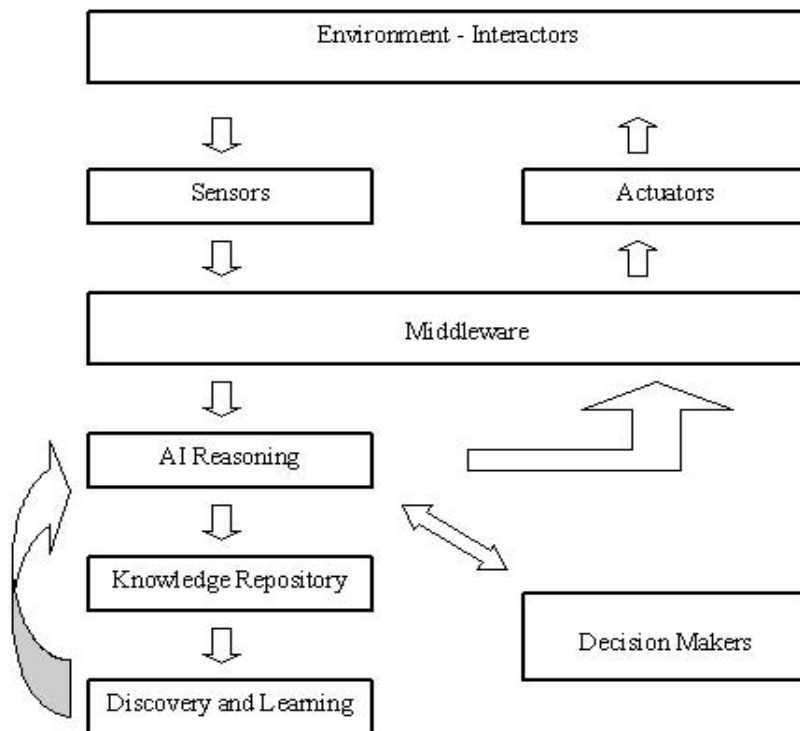


Fig. 3.2 – Flux de l'information et architecture générale d'un système Ambient Intelligence.[6]

3.2 Middleware

L'environnement peut compter un grand nombre de périphériques (dont les capteurs et actionneurs) reliés en réseaux, ce qui représente un énorme flux d'information à canaliser en temps réel vers le système principal. Si des capteurs sont défaillants, les données qu'ils fournissent pourraient être corrompues, bruitées voire même manquantes. Par ailleurs, le système doit être capable de comprendre et traiter l'information depuis l'ensemble des données en input, qui est très hétérogène étant donné les différents types de capteur et protocoles de communication dans l'environnement. [15, 7]

Pour faire face à cette situation, une couche Middleware joue un rôle important pour interconnecter les capteurs, les actionneurs et les composants logiciels des couches supérieures. Le Middleware offre une connexion transparente entre les périphériques en réseau dans l'environnement et les services et applications qui assistent l'utilisateur. La figure 3.1 illustre l'architecture de l'Ambient Intelligence en présence de la couche Middleware.

Dès lors, les données provenant des capteurs sont filtrées, fusionnées et converties dans un format prédéfini, compris par les applications [8]. La couche Middleware cache les détails d'implémentations de toutes les entités physiques et logiques branchées au Middleware, et fournit un standard de communication [26]. Par exemple, les composants logiciels peuvent interagir avec les périphériques via le protocole de communication EIB (European Installation Bus) ou SNMP (Simple Network Management Protocol). Par ailleurs, le système d'interaction Multimodal Dialogue System, présenté au chapitre 2, passe par la couche Middleware pour interagir avec les interfaces, capteurs et actionneurs du monde physique sans connaître leurs spécificités techniques.

De plus, le Middleware permet d'ajouter ou retirer un périphérique du réseau pendant que le système est en cours d'exécution, ce qui ajoute un aspect dynamique à l'environnement. Par ailleurs, cette couche permet de simplifier le développement de nouveaux services, grâce au niveau d'abstraction qu'il offre sur toute la complexité de l'environnement du Ambient Intelligence.

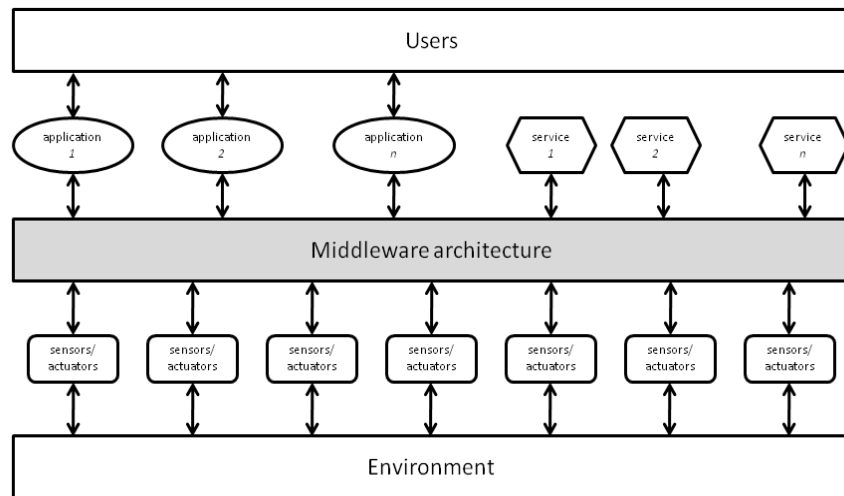


Fig. 3.3 – Architecture basique de l'Ambient Intelligence avec le Middleware.[8]

Selon Schiele et al., un Middleware conçu pour le Pervasive/Ubiquitous Computing, et donc utile à l'Ambient Intelligence, doit offrir 3 principaux services [38] :

Interaction spontanée : les applications interagissent entre elles et avec un ensemble de périphériques hétérogènes et sont en constante évolution.

Elles doivent donc toujours être en mesure de détecter et communiquer avec les périphériques disponibles.

Gestion de contexte : les applications ont besoin de connaître l'état de l'environnement via les informations provenant des capteurs. C'est au Middleware de cacher la complexité de l'acquisition, la fusion et la modélisation des données produites par les différents capteurs éventuellement inaccessibles ou défaillants.

Adaptation de l'application : étant donné l'hétérogénéité et la dynamique des systèmes Ambient Intelligence, les applications doivent pouvoir s'adapter aux propriétés de l'environnement, aux capacités disponibles et au contexte des utilisateurs.

Ces 3 services peuvent être considérés comme des principes de conception du Middleware. Nous résumons leurs descriptions [38].

3.2.1 Interaction spontanée

Ce service concerne une majorité de Middleware conventionnel. Dans le cadre du Pervasive/Ubiquitous computing, les applications peuvent être distribuées à travers un large panel de périphériques différents, du Smartphone ou tableau interactif à un serveur dans une infrastructure fixe. Cependant, le Middleware ne connaît pas d'avance les périphériques sur lesquels il peut tourner et avec lesquels il va communiquer. Face à cette situation, le Middleware doit satisfaire 3 exigences.

Premièrement, les périphériques doivent pouvoir communiquer entre eux en toute circonstance. Pour qu'ils puissent coopérer, il faut d'une part, une interopérabilité entre eux, d'autre part, les applications doivent utiliser des abstractions de communication. L'interopérabilité peut se résoudre via l'utilisation de protocole standard, par exemple UPNP. Une autre solution plus flexible est que le Middleware utilise une méthode de négociation des protocoles, et ainsi pouvoir permuter entre différentes technologies de communication dynamiquement (mécanisme *vertical handoffs*, utilisé par les Middleware BASE ou Jini basé sur Java par exemple). Une autre approche consiste à introduire des *'interaction bridges'* dans le système qui lient des technologies différentes. Enfin, les abstractions de communication sont souvent utilisées dans le développement d'application distribuée, avec des Middlewares réputés comme CORBA, Java RMI, Microsoft's .NET Remoting.

Deuxièmement, le Middleware doit être capable d'être exécuté sur des plateformes différentes (hardware et software). Une solution est de développer le Middleware en utilisant un environnement d'exécution indépendant vis-à-vis de la plateforme, par exemple la machine virtuelle Java. De plus, le système doit être assez flexible pour pouvoir être exécuté sur une plateforme avec le minimum de ressources hardware, mais aussi être en mesure d'exploiter plus de ressources lorsqu'elles sont abondantes. Dès lors, deux approches sont possibles : soit développer plusieurs Middleware destinés à différentes classes de support (e.g. minimumCORBA) ; soit rendre le système modulaire et extensible comme par exemple Universally Interoperable Core (UIC) ou BASE.

Troisièmement, un service de médiation dynamique doit être continuellement disponible pour mettre en relation différents périphériques dynamiquement. Le

médiateur est un mécanisme de découverte de service qui se base sur deux approches. La première, '*Peer-based Discovery*', demande aux périphériques clients de diffuser une requête sur le réseau et attend une réponse des fournisseurs du service désiré. Inversement, ces derniers peuvent périodiquement diffuser un message pour notifier de leurs services. Cette solution est simple et flexible, cependant, elle surcharge les communications et consomme de l'énergie. La dernière approche, '*Mediator-based Discovery*', consiste à désigner un périphérique, le médiateur, qui maintient un registre des services disponibles sur le réseau pour mettre en relation le client avec le fournisseur de service. Ce dernier a enregistré son service auprès du médiateur et reste disponible. Cette solution diminue le risque de surcharge de communication, mais rend l'ensemble des applications très dépendantes du médiateur dans un environnement hautement dynamique.

3.2.2 Gestion de contexte

Étant donné que le système Ambient Intelligence est Context-Aware, les applications nécessitent toutes les informations qui caractérisent la situation de l'utilisateur, son environnement et ses relations avec les autres entités (personnes, animaux, emplacements, objets, application utilisée), autrement dit, le contexte. Ces applications pourront alors s'adapter en conséquence et fournir des services appropriés. La gestion de contexte consiste à effectuer 3 tâches majeures : l'acquisition et la fusion des données ; la modélisation et la distribution des informations ; l'approvisionnement et l'accès au contexte.

L'acquisition des données des capteurs doit prendre en compte deux difficultés : la précision et la fraîcheur des données. Tout d'abord, les valeurs mesurées peuvent ne pas correspondre précisément à la réalité et peuvent même être erronées. Généralement, on considère un intervalle de valeur avec l'application d'une fonction de distribution. Ensuite, après une lecture d'un capteur, la valeur prélevée reste exploitable pendant une certaine période de temps. Il est possible de réduire la fréquence de rafraichissement de certaines données si nous connaissons la manière dont la valeur évolue dans le monde physique, ce qui nous permet d'estimer sa déviation au cours du temps.

De plus, la fusion (combinaison) de capteurs permet d'améliorer la précision des informations. L'ajout d'informations supplémentaires, à partir d'autres technologies de capteur, diminue les probabilités d'erreur. Et même s'il s'agit de plusieurs mesures de la même technologie de capteur qui sont combinées, l'information gagne en précision (par exemple, plusieurs perspectives d'une information visuelle).

La seconde tâche est indispensable au raisonnement et à l'interprétation des données par les applications distribuées. Une interface standardisée, non seulement, cache la représentation interne de l'information de contexte, mais aussi facilite le partage et l'utilisation des données par les services distribués. Cependant, les données de contexte doivent être également standardisées. Il existe beaucoup de façon de modéliser le contexte. Schiele et al. citent par exemple le modèle le plus simple par paire de 'nom-valeur', mais qui nécessite que toutes les applications distribuées connaissent le nom des concepts et l'interprétation de l'information. Ou encore, le modèle Orienté Objet qui permet de modéliser des hiérarchies et de les étendre, mais ne permet pas d'ajouter des relations entre des concepts. Les ontologies apportent plus de valeur au modèle et permettent de raisonner sur les contextes, mais restent un domaine complexe. Enfin,

les données sont accessibles aux services distribués, en étant hébergées sur un serveur qui répertorie par des services d'annuaire.

Avec cette dernière tâche, les informations de contexte sont accessibles via un service de contexte, qui est en fait la réalisation de l'interface de contexte. Les applications peuvent effectuer des requêtes pour accéder à des informations de contexte, d'une façon similaire à une base de données. Par exemple, les requêtes peuvent concerner des identifiants pour accéder directement à une information de contexte, ou une localisation (par exemple, la position d'un objet ou la liste des objets à tel emplacement), ou encore le temps pour accéder à un contexte archivé ou à une prédiction. En outre, des applications peuvent s'enregistrer pour uniquement recevoir une notification dès qu'un contexte est modifié.

3.2.3 Adaptation d'application

La puissance de calcul du Pervasive/Ubiquitous Computing se dévoile dans la coordination de plusieurs périphériques, où les capacités uniques de chacun sont intégrées pour réaliser des tâches complexes. Pris séparément, un périphérique seul ne sait réaliser que des très petites tâches. Cependant, la coordination des périphériques dans un environnement hautement dynamique est complexe. En effet, non seulement l'ensemble des périphériques peut-être différent d'un environnement à un autre, mais aussi il est susceptible de changer à n'importe quel moment au sein d'un même environnement. De plus, même si l'ensemble des périphériques est fixé dans un environnement, l'utilisateur pourrait vouloir exécuter une même tâche avec des périphériques différents.

Dès lors, la coordination des périphériques doit se focaliser sur l'utilisateur et son environnement. Ensuite, la coordination doit être capable de s'adapter aux changements de l'environnement. Le Middleware peut gérer la coordination par deux approches alternatives : l'adaptation inter-application et l'adaptation intra-application.

Le premier consiste à coordonner un ensemble d'applications pour exécuter la tâche à travers un ensemble de périphériques. Les applications ne sont pas distribuées, ne se connaissent pas, mais peuvent communiquer indirectement par un intermédiaire ou par un mécanisme classique de fichiers partagés. Le Middleware compose un ensemble d'applications à exécuter qu'il peut adapter s'il détecte des changements.

La seconde approche consiste à coordonner l'exécution d'une seule application distribuée à travers un ensemble de périphériques. Cette solution nécessite la disponibilité de certaines fonctionnalités selon les critères d'exigence de l'application. Contrairement à la première approche qui bénéficie d'un certain degré de flexibilité dans la composition des applications.

Chapitre 4

Techniques d'Intelligence Artificielle

Contents

3.1	Architecture basique du système Ambient Intelli-	
	gence	22
3.2	Middleware	25
3.2.1	Interaction spontanée	27
3.2.2	Gestion de contexte	28
3.2.3	Adaptation d'application	29

Ce chapitre n’a pas pour but de détailler l’ensemble de toutes les techniques d’Intelligence Artificielle utilisables en Ambient Intelligence. Plusieurs d’entre-elles sont citées au chapitre 2.3, sans être exhaustif. Par ailleurs, une technique peut être utilisée plusieurs fois dans différentes tâches de l’Ambient Intelligence. Par exemple, en Machine Learning, les *Hidden Markov Models* (HMM) peuvent être employés aussi bien pour identifier des comportements en temps-réel que pour la reconnaissance vocale [22, 37]. Nous décrivons ici quelques exemples de méthodes d’Intelligence Artificielle et de Machine Learning exploitées dans des étapes clés du processus de l’Ambient Intelligence.

4.1 Reconnaissance du Contexte

L’Ambient Intelligence doit pouvoir répondre de manière appropriée à une situation particulière impliquant l’utilisateur. La reconnaissance du contexte est une étape clé pour déduire le comportement de l’individu, faire des prédictions et détecter un scénario anormal. Pour ce faire, il est nécessaire que le concepteur représente les contextes dans un langage compris par la machine pour pouvoir raisonner.

À ce stade, quelques hypothèses sont émises pour faciliter la compréhension des méthodes suivantes. Tout d’abord, nous faisons abstraction du processus qui traite les données brutes fournies directement par les capteurs. Guesgen et Marsland [22] suggère d’encoder ces données dans des ”*Tokens*” où chacun représente un évènement ou une action atomique. Chaque Token pris séparément donne seulement une indication qui laisse plusieurs interprétations possibles. Cependant, la jonction de plusieurs Tokens produit plus d’information avec du sens. Par ailleurs, nous supposons un mécanisme de raisonnement qui détecte si le comportement est ”anormal” ou non.

Guesgen et Marsland [22] proposent quelques méthodes de raisonnement utiles pour décrire l’aspect Context-Awareness de l’Ambient Intelligence. Ces méthodes, présentées ci dessous, permettent de déterminer les comportements de l’individu à partir de ses activités.

4.1.1 Raisonnement Spatio-Temporel

Le comportement humain est naturellement décrit par un scénario qui inclut des informations temporelles et spatiales. L’aspect temporel désigne, par exemple, une période de l’année, d’une journée, le moment où se déroule un évènement, l’intervalle de temps entre deux actions, etc. L’aspect spatial complète la description du scénario avec des informations comme l’emplacement des pièces dans la maison, dans quelle pièce se trouve la personne, quels objets se trouvent dans son voisinage, où se déroule l’évènement anormal, etc. En outre, chaque évènement peut être mis en relation sur base de la temporalité et de l’espace, afin d’obtenir plus de connaissance sur le comportement.

Le raisonnement Spatio-Temporel, dans le cadre de l’Ambient Intelligence, favorise une approche qualitative plutôt que quantitative, selon Guesgen et Marsland. En effet, un raisonnement basé sur des faits imprécis pour décrire un comportement est suffisant pour qualifier celui-ci de normal ou anormal. Par exemple, une situation spécifiée par ”un repas est préparé dans la cuisine à midi” suffit au raisonnement qui ne détecte pas une situation anormale ; en

effet, il n'est pas nécessaire de déterminer la quantité des ingrédients du repas, les coordonnées de l'individu et l'heure exacte à la seconde près.

Le principe du raisonnement Spatio-Temporel consiste à établir des relations de base entre des objets définis par des zones ou des intervalles de temps, et d'inférer de nouvelles relations à partir d'un ensemble de règles. Guesgen et Marsland fournissent quelques langages permettant de modéliser les deux aspects du raisonnement :

Raisonnement Temporel

Dans le domaine de la logique temporelle, deux approches sont pertinentes en Ambient Intelligence : la *logique temporelle de Allen* et le *Point Algebra*. Cook et al. mentionne aussi l'approche de Allen qui a fait ses preuves pour inférer des prédictions et détecter des comportements anormaux [15].

La logique temporelle de Allen spécifie des événements par des intervalles de temps et les relations entre eux. Treize relations atomiques, illustrées à la figure 4.1, permettent d'établir l'interdépendance entre les intervalles de temps de deux événements distincts. Une table de composition (figure 4.2) fournit les relations possibles entre deux intervalles de temps, I_1 et I_3 , tel que I_1 est en relation avec un autre intervalle I_2 et I_2 est en relation avec un autre intervalle I_3 . Dès lors, l'algorithme de Allen utilise cette table pour inférer des réseaux de relations. Cette approche permet d'exprimer l'incertitude lorsque l'inférence produit plusieurs relations possibles entre des événements. Cependant, l'incertitude est potentiellement résolue plus tard lorsque d'autres informations deviennent accessibles.

La seconde approche, le Point Algebra de Vilain et Kautz, ne définit pas des intervalles mais plutôt des points dans le temps. Ces points sont reliés par trois relations binaires illustrées à la figure 4.3. Par ailleurs, il reste possible d'exprimer des intervalles de temps en utilisant les relations entre les points de début et fin concernant une activité. En conséquence, les relations peuvent aussi s'appliquer à des intervalles de temps en terme de points, appelés "*pointisable interval relations*".

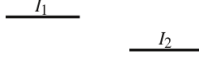
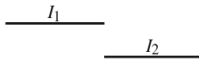
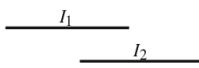
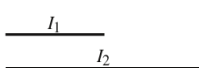
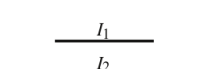
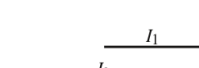
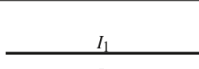
<i>Relation</i>	<i>Illustration</i>	<i>Interpretation</i>
$I_1 < I_2$ $I_2 > I_1$		I_1 before I_2 I_2 after I_1
$I_1 m I_2$ $I_2 mi I_1$		I_1 meets I_2 I_2 met by I_1
$I_1 o I_2$ $I_2 oi I_1$		I_1 overlaps I_2 I_2 overlapped by I_1
$I_1 s I_2$ $I_2 si I_1$		I_1 starts I_2 I_2 started by I_1
$I_1 d I_2$ $I_2 di I_1$		I_1 during I_2 I_2 contains I_1
$I_1 f I_2$ $I_2 fi I_1$		I_1 finishes I_2 I_2 finished by I_1
$I_1 = I_2$		I_1 equals I_2

Fig. 4.1 – Relations atomiques de la logique temporelle de Allen [22].

	<	m	o	fi	di	si	=	s	d	f	oi	mi	>
<	<	<	<	<	<	<	<	<	<, m o, s d	<, m o, s d	<, m o, s d	<, m o, s d	<, m o, s, d f, =, fi di, si, oi mi, >
m	<	<	<	<	<	m	m	m	o, s d	o, s d	o, s d	f, = fi	di si, oi mi, >
o	<	<	<, m o	<, m o	<, m o fi, di	o fi, di	o	o	o, s d	o, s d	o, s d, f, = fi, di si, oi	di si, oi	di si, oi mi, >
fi	<	m	o	fi	di	di	fi	o	o, s d	f, = fi	di si, oi	di si, oi	di si, oi mi, >
di	<, m o fi, di	o fi, di	o fi, di	di	di	di	di	o fi, di	o, s d, f, = fi, di si, oi	di si, oi	di si, oi	di si, oi	di si, oi mi, >
si	<, m o fi, di	o fi, di	o fi, di	di	di	si	si	s, = si	d, f oi	oi	oi	mi	>
=	<	m	o	fi	di	si	=	s	d	f	oi	mi	>
s	<	<	<, m o	<, m o	<, m o fi, di	s, = si	s	s	d	d	d, f oi	mi	>
d	<	<	<, m o, s d	<, m o, s d	<, m o, s, d f, =, fi di, si, oi mi, >	d, f oi, mi >	d	d	d	d	d, f oi, mi >	>	>
f	<	m	o, s d	f, = fi	di si, oi mi, >	oi mi, >	f	d	d	f	oi mi, >	>	>
oi	<, m o fi, di	o fi, di	o, s d, f, = fi, di si, oi	di si, oi	di si, oi mi, >	oi mi, >	oi	d, f oi	d, f oi	oi	oi mi, >	>	>
mi	<, m o fi, di	s, = si	d, f oi	mi	>	>	mi	d, f oi	d, f oi	mi	>	>	>
>	<, m o, s, d f, =, fi di, si, oi mi, >	d, f oi, mi >	d, f oi, mi >	>	>	>	>	d, f oi, mi >	d, f oi, mi >	>	>	>	>

Fig. 4.2 – Table de Composition de Allen. Détermine les relations possibles entre les objets O_1 et O_3 , étant donné un objet O_2 et les relations r_1 (colonne) et r_2 (ligne) telles que $O_1 \{r_1\} O_2$ et $O_2 \{r_2\} O_3$ [22].




<i>Relation</i>	<i>Illustration</i>	<i>Interpretation</i>
$P_1 < P_2$	P_1 	P_1 precedes P_2
$P_1 = P_2$	P_1 	P_1 same as P_2
$P_1 > P_2$	P_2 	P_1 follows P_2

Fig. 4.3 – Les 3 relations entre 2 points du Point Algebra [22].

Raisonnement Spatial

Les logiques précédentes peuvent être adaptées au raisonnement Spatial. Dans la logique de Allen, un intervalle de temps devient un objet unidimensionnel. Tout comme le Point Algebra, un point de temps devient une localisation dans l'espace. L'axe du temps qui était considéré précédemment, devient un axe horizontal d'espace où les relations sont interprétées comme des positions relatives entre deux objets. Par exemple, si O_1 désigne l'espace occupé par un objet et O_2 désigne l'espace occupé par un individu : la relation $O_1 < O_2$ signifie que le objet est à gauche de l'individu. De plus, la table de composition reste applicable pour raisonner.

Une extension de la logique de Allen permet de représenter les relations spatiales entre des objets dans un plan cartésien à 3 dimensions. Dès lors, la relation entre deux objets est définie par un triplet de relations, où chacune d'elle spécifie les positions relatives sur un axe distinct dans l'espace (axe vertical, horizontal et de profondeur).

Toujours dans [22], Guesgen et Marsland souligne la pertinence des aspects topologiques de l'espace pour décrire le comportement d'un individu en Ambient Intelligence. Dès lors, ils proposent une logique spécialisée dans le raisonnement sur les espaces topologiques [46] : le Region Connection Calculus (RCC) [25]. Cette approche est basée sur une relation binaire, réflexive et symétrique $C(X, Y)$, appelée *connection relation*, qui doit satisfaire les axiomes suivants [22] :

1. For each region $X : C(X, X)$
2. For each pair of regions $X, Y : C(X, Y) \longrightarrow C(Y, X)$

La *connection relation* permet de dériver 8 relations binaires importantes qui forment l'ensemble "*Jointly Exhaustive and Pairwise Disjoint (JEPD)*" [25]. Cet ensemble particulier stipule que toute paire de régions doit correspondre à exactement une des relations contenues dans l'ensemble JEPD, à savoir $\{DC, EC, PO, EQ, TPP, NTPP, TPPi, NTPPi\}$ illustré à la figure 4.4. L'inférence se base sur le même mécanisme que Allen, en utilisant une table de composition transitive.


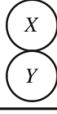
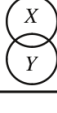

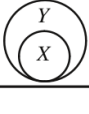
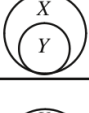
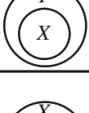
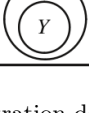
<i>Relation</i>	<i>Illustration</i>	<i>Interpretation</i>
$DC(X, Y)$		X disconnected from Y
$EC(X, Y)$		X externally connected to Y
$PO(X, Y)$		X partially overlaps Y
$EQ(X, Y)$		X identical with Y
$TPP(X, Y)$		X tangential proper part of Y
$TPPi(X, Y)$		Y tangential proper part of X
$NTPP(X, Y)$		X nontangential proper part of Y
$NTPPi(X, Y)$		Y nontangential proper part of X

Fig. 4.4 – Illustration de l'ensemble des 8 relations RCC [22].

4.1.2 Situation Calculus

Le *Situation Calculus* est une approche symbolique de l'Intelligence Artificielle. Dans le cadre du Context-Awareness, cela signifie que les actions, les événements, et leurs ramifications sont représentés explicitement [22]. Cette approche décrit des changements de situation en terme d'état par des formules en logique de premier ordre. Chaque action exécutée peut potentiellement modifier les états, et ainsi modifier la situation. Concrètement, un premier axiome définit une action possible qui peut modifier la situation courante, et un second axiome spécifie l'effet de cette action et met à jour la situation.

Par exemple [22], dans une situation s , il est possible de chauffer une bouilloire si elle n'est pas vide. Si la bouilloire chauffe alors elle aura pour effet de modifier

l'état de l'eau et d'évoluer vers une nouvelle situation où l'eau de la bouilloire est chaude. Ce scénario peut se décrire formellement de la manière suivante :

Possibility axiom : $Kettle(K) \wedge \neg Empty(K, s) \Rightarrow Poss(Heat(K, s))$

Effect axiom : $Poss(Heat(K, s)) \Rightarrow Hot(K, Result(Heat(k, s)))$

Dans les formules, les fonctions et les prédicats qui peuvent modifier leur état sont appelés *fluents*, par exemple les prédicats *Empty* et *Hot*, et la fonction *Heat*. À l'inverse, les *atemporals* ou *eternals* désignent les fonctions et prédicats qui ne changent pas de valeur, par exemple *Kettle*. L'exécution d'une action possible a pour effet de modifier l'état des fluents, ce qui est défini par l'axiome d'effet. Cependant, il n'est pas possible d'affirmer que les fluents non-concernés par l'action ne sont pas modifiés. Le problème, appelé le *frame problem*, est que l'axiome d'effet ne permet pas de raisonner sur les actions sans effets. Une solution consiste à ajouter des *frame axioms*, par exemple :

Frame axiom : $Door(D) \wedge \neg Open(D, s) \Rightarrow \neg Open(D, Result(Heat(K, s)))$

En général, cette approche est utilisée pour inférer sur les actions possibles pour accomplir l'effet désiré, comme la planification de tâches. Afin de déterminer un comportement humain, le raisonnement est inversé. Dès lors, le raisonnement vise à trouver la conséquence d'une série d'actions exécutées pour y associer un symbole déterminant une activité. Une solution consiste à utiliser une base de données pour associer une séquence d'action à une interprétation d'activité.

Cependant, une même activité peut être réalisée de plusieurs façons différentes. La séquence d'action peut varier, voire même entrelacée avec d'autres actions propre à une seconde activité. Par ailleurs, bien qu'il soit possible d'intégrer des références de temps ou d'espace aux axiomes, les calculs ne permettent pas de raisonner comme avec la logique temporelle de Allen ou le RCC.

4.2 Apprentissage

Les méthodes de reconnaissance de contexte présentées à la section 4.1 présentent une lacune. En effet, le concepteur doit pouvoir créer un ensemble de règles suffisamment raisonnable pour prendre en compte toutes les formes de comportement anormale. Cependant, tous les comportements humains ne sauraient être envisagés à l'avance. Dès lors, un système d'apprentissage permet à l'Ambient Intelligence d'apprendre des nouveaux comportements et ainsi s'adapter à l'utilisateur.

Comme à la section précédente, nous supposons un processus qui encode les données brutes en Tokens, qui représentent des événements particuliers. Les méthodes présentées dans [22] sont introduites ici.

4.2.1 Identification de Patterns via Data Mining

Lorsque des événements se produisent dans l'environnement, provoqués par l'activité de l'utilisateur, les capteurs déclenchent un flux de Tokens. Ces Tokens peuvent être assemblés en des séquences délimitées par une fenêtre de temps. Une séquence, appelée aussi *String*, peut avoir une longueur variable qui dépend du nombre d'événements générés pendant la fenêtre de temps (par exemple, il y a généralement plus d'événements générés en journée que pendant la nuit). Dès

lors, le Data Mining est exécuté sur les Strings qui seront traitées comme des "transactions" séparées. Par ailleurs, le choix d'une taille adéquate de la fenêtre de temps est une opération non-triviale qui nécessite des techniques telles que la *Cross-Validation* [28].

Pour identifier un comportement particulier de l'utilisateur, l'idée est de repérer un ensemble de Tokens qui apparaît fréquemment parmi les Strings, autrement dit un pattern. De ce fait, l'opération de *Market Basket Analysis* en Data Mining consiste à extraire ces patterns. Le *FP-Tree* est une méthode qui applique le minage des patterns avec une fréquence d'apparition, appelée "support", supérieure à un seuil prédéfini. Cette technique consiste à construire un arbre à partir de l'ensemble des données extraites. Chaque noeud correspond à un élément avec un support, et les noeuds avec le plus grand support sont disposés au sommet de l'arbre. L'accès au noeud se fait rapidement via une table contenant l'index des éléments différents.

La technique de minage de pattern fréquents vise aussi à identifier les plus grandes séquences répétées, ce qui est intéressant pour déterminer des comportements plus complexes. Cependant, la méthode présente quelques difficultés face à des situations compliquées. D'une part, lorsque plusieurs tâches distinctes s'effectuent en même temps, les séquences de Tokens s'entrelacent et rendent l'identification de comportement plus difficile. De plus, une certaine action peut intervenir dans plusieurs comportements différents. D'autre part, l'ordre des actions dans une séquence peut légèrement varier pour un même comportement. Parfois, lorsqu'un certain pattern se répète souvent dans une fenêtre de temps particulière, l'ordre des Tokens a moins d'importance pour l'identification du comportement. Cependant, la temporalité des séquences reste important pour distinguer plusieurs comportements différents.

4.2.2 Modèles Graphiques

Les modèles graphiques sont très populaires en Machine Learning. En combinant la théorie des graphes et des probabilités, les modèles graphiques fournissent un framework pour représenter un grand nombre d'algorithmes de Machine Learning tels que [10, 37] le *Kalman Filter*, les *Hidden Markov Models* (HMM), ou encore les *Bayesian Networks*. Le graphe d'un modèle est représenté par des noeuds liés ou non par des arêtes. Lorsque deux noeuds ne sont pas liés par une arête, ils sont conditionnellement indépendants. Le graphe peut être orienté, ou non-orienté et dans ce cas, les modèles représentés sont des *Markov Random Fields*.

Supposons que des comportements formés par des ensembles de Tokens ont été préalablement identifiés par des techniques comme le Data Mining. Une approche intéressante des modèles graphiques consiste à identifier ces comportements en temps-réel, i.e. directement depuis les Tokens dans le flux. Cette approche peut être représentée par une sous-classe des modèles graphiques, les *Dynamic Bayesian Networks* qui incluent les Hidden Markov Models.

Dans le graphe des HMM pour une Smart Home, les Tokens représentent l'ensemble des noeuds des observations, et l'ensemble des noeuds d'état correspond aux états d'éléments physiques qui ont déclenché ces observations. Par exemple, un capteur qui a détecté une arrivée d'eau au robinet produit un Token représentant cette observation. Les états possibles, qui peuvent déclencher cette observation, pourraient être l'ouverture d'un robinet ou une fuite d'eau.

Cependant, les HMM sont limités et nécessitent d'être étendus. Le parcours du graphe implique un ordre temporelle des différentes actions pour passer d'un état à un autre. Dès lors, 2 problèmes se présentent : d'une part, l'ordre dans une séquence d'actions pour définir un comportement peut varier ; d'autre part, au cours d'une activité, les observations non-connectées à cette activité peuvent être ignorées. Une solution possible au problème d'ordre est le *Conditional Random Field*.

Par ailleurs, il est possible de représenter des activités plus complexes en modifiant la structure du HMM normal en *Hierarchical HMM*. De cette manière, chaque état peut représenter une activité complète par sa propre Hierarchical HMM. De plus, pour améliorer l'identification et la prédiction de comportement, Guesgen et Marsland proposent de mettre en compétition un ensemble de HMM où chacun reconnaît un comportement particulier, et celui qui obtient la meilleure probabilité de correspondance avec un groupe de Tokens est choisi. Si aucun n'obtient une bonne correspondance, un nouveau modèle doit être ajouté et entraîné sur cette donnée, ou bien une alerte se déclenche.

4.2.3 Détection de Nouveauté et l'Habitude

La détection de Nouveauté (*Novelty Detection*) fournit une méthode de Machine Learning pour classer le comportement de l'utilisateur comme "normal" ou "nouveau". Dans une première phase, l'algorithme s'entraîne sur un ensemble de comportements normaux typiques fournis pour l'entraînement. Ensuite, l'algorithme est en mesure de classer les actions perçues comme normales ou non. Différentes méthodes existent comme le *multi-layer Perceptron-based novelty filter* ou les méthodes basées sur les *Support Vector Machines*.

Guesgen et Marsland introduisent un modèle simple calqué sur le phénomène biologique de l' "habitude" pour mettre en pratique la détection de nouveauté. Dès lors, chez les organismes biologique, l'habitude « *consists of a reduction in response rate to a stimulus that is presented repeatedly without ill effect* » [22]. Cette capacité permet d'apprendre à ignorer des stimulus inutiles pour se concentrer sur ce qui importe. L'habitude peut être caractérisée par une échelle de valeur de réactions à un stimuli où plus la valeur est faible, plus on est habitué au stimuli. Si un nouveau stimuli apparaît, les réactions augmentent très rapidement jusqu'à un seuil critique, puis décroissent exponentiellement si le stimuli est fréquent.

Du point de vue de l'Ambient Intelligence, on considère un algorithme qui classe des comportements selon un ensemble de critères. Par exemple, le Réseau Neural que l'on adapte au modèle d'habitude en modifiant les outputs de façon classer les inputs fréquents comme habituels (normales) et les plus rares comme inhabituels (nouveau). Ensuite, le système s'entraîne avec des données communes sur le quotidien d'un individu. Après l'entraînement, les outputs concernant l'habitude sont capables déterminer si un comportement en input est normal ou nouveau. D'autres informations peuvent s'ajouter pour augmenter les conditions de la normalité. Par exemple, un comportement est soit a été connu dans le passé mais n'a pas fait d'apparition récente, soit est typique et complètement normal. Ces informations sont prises en compte par deux processus d'habitude : Le premier apprend lentement, son niveau de réaction diminue progressivement à chaque apparition d'input et ne change pas si l'input devient rare. Le second apprend rapidement, son niveau de réaction chute à chaque ap-

parition d'input, mais l'input est vite oublié s'il devient rare et le niveau de réaction grimpe au seuil critique.

Afin de prendre en compte l'aspect temporel et spatial, des banques de *learners* peuvent être entraînées pour se spécialiser dans les combinaisons d'espaces et de temps. Cette approche permet de décrire explicitement chaque contexte.

Chapitre 5

Domaines d'Applications

Contents

4.1	Reconnaissance du Contexte	31
4.1.1	Raisonnement Spatio-Temporel	31
4.1.2	Situation Calculus	36
4.2	Apprentissage	37
4.2.1	Identification de Patterns via Data Mining	37
4.2.2	Modèles Graphiques	38
4.2.3	Détection de Nouveauté et l'Habitude	39

Les possibilités d'application en Ambient Intelligence sont nombreuses. L'objectif de ces applications est de nous fournir la meilleure assistance possible dans nos vies.

En théorie, on attend d'un environnement intelligent qu'il montre toutes les fonctionnalités présentées dans les précédents chapitres (voir 1.1.3). Cependant en général, le développement de solution Ambient Intelligence est souvent dirigé par la demande des utilisateurs, des industries et des organisations gouvernementales. Et donc, les implémentations présentent souvent un sous-ensemble de fonctionnalités de l'Ambient Intelligence selon le domaine d'application. Signalons que plusieurs grandes sociétés (Philips, Siemens, Nokia, VTT, Microsoft, ...) ont apporté une contribution physique à l'Ambient Intelligence avec le développement de technologies pour les Smart Environment [4].

Les domaines d'application que nous présentons ici sont notamment recensés par Augusto, Cook et al [4, 7, 15] avec quelques exemples. Tous les domaines d'application ne pourraient être répertoriés ici étant donné la multitude de configurations possibles de l'Ambient Intelligence. En effet, l'ensemble des cas possibles à étudier est énorme étant donné que le développement d'une solution dans un domaine particulier implique des choix concernant l'ensemble des capteurs et actionneurs, l'ingénierie de l'architecture, les techniques d'Intelligence Artificielles, les interfaces d'interaction utilisateur-système, etc.

Nous résumons donc à travers les sections suivantes les domaines d'application possibles listées par Augusto, Cook et al avec quelques exemples d'implémentation. Une première solution d'Ambient Intelligence taillée pour le domicile de l'individu est présentée à la section 5.1. D'autres solutions se soucient de la santé à la section 5.2 de l'utilisateur et même de sa sécurité en environnement extérieur comme les transports à la section 5.3. La section 5.4 montre que l'utilisateur peut vivre une nouvelle expérience depuis la salle de classe, jusqu'à son lieu de travail, présenté à la section 5.5. Enfin, tous les domaines d'application ne peuvent être cités, la section 5.6 termine ce chapitre avec quelques exemple de cas particuliers.

5.1 Smart Homes

Les Smart Homes sont les environnements intelligents les plus en vogue dans la production de solution Ambient Intelligence [7]. Des capteurs et des actionneurs sont dispersés à l'intérieur de la maison et intégrés dans des éléments électrodomestiques dans le but d'aider les occupants. Dès lors, les capteurs collectent des informations sur les occupants pour analyser leurs comportements afin d'agir automatiquement dans leur intérêt. L'apport de cette technologie vise trois avantages majeurs [15] :

- l'augmentation de la sécurité (par exemple, intervenir lorsque une situation anormale ou dangereuse est détectée) ;
- le confort (par exemple, prédire les besoins dans les habitudes du quotidien et agir pour le bien-être) ;
- l'économie d'énergie (par exemple, contrôler automatiquement les ressources d'eau et d'électricité).

Cook et al [15] donnent un aperçu de plusieurs projets dans ce domaine dont voici quelques exemples.

Le projet *ALADIN* (Ambient Lighting Assistance for an Ageing Population) [27] vise à augmenter le confort et le bien-être des personnes âgées en adaptant l'éclairage selon plusieurs paramètres (par exemple, la température des couleurs, l'intensité, la distribution). À partir des données psycho-physiologiques de la personne enregistrée par les capteurs, le système teste des paramètres d'éclairage avec différentes valeurs et les adapte via des algorithmes d'optimisation (par exemple, recuit simulé ou algorithme génétique, fuzzy logic, réseaux neuronaux) afin de déterminer les valeurs les plus appropriées à l'utilisateur. Ce système d'éclairage intelligent, qui inclut aussi des applications de biofeedback et de conseils, permet d'améliorer le cycle du sommeil de l'utilisateur et donc son mode de vie.

Un autre exemple de projet de Smart Home, appelé *MavHome* [17], consiste à fournir de l'intelligence à une maison. Dès lors, la maison est capable d'agir sur l'environnement via des contrôleurs électriques sur base des informations de son état collectées par des capteurs. Concrètement, des techniques de Data Mining traitent le flux d'informations provenant des capteurs pour identifier des patterns correspondant à des activités. De plus, un algorithme basé sur la compression (Active LeZi, basé sur LZ78 [18]) calcule les futures actions les plus probables. Enfin, un modèle de Markov hiérarchique est généré sur base des résultats précédents et des informations contextuelles comme l'état des capteurs, la date et l'heure des activités. Ce modèle peut s'affiner avec plus d'informations sur le contexte des activités et permet de prédire les prochaines actions pour les automatiser. Cook et al ont constaté une diminution de 76% des actions quotidiennes sur base de données collectées sur un habitant volontaire pendant un mois [15].

5.2 Services de santé

Un des principaux domaines visé par l'Ambient Intelligence concerne la santé. Des Smart Homes sont dédiés à améliorer la qualité de vie et aider les personnes âgées ou avec un handicap. Certains patients ou personnes âgées ont la possibilité de rester chez eux grâce à un système de monitoring de leur santé et profiter des services de télésoins [7]. Le système peut alors être connecté à un hôpital pour qu'un médecin puisse observer l'évolution de la santé d'un patient et appeler les urgences s'il détecte une situation grave.

Cook, Augusto et al donnent les avantages d'une application Ambient Intelligence pour le monitoring et l'assistance de soin à domicile. D'autre part, ils montrent comment les hôpitaux peuvent améliorer l'efficacité et la sûreté de leurs services [15, 7].

5.2.1 Monitoring et assistance de soins

Cette classe d'application contribue à un programme européen appelé Ambient Assisted Living (AAL) [1] qui vise à aider les personnes âgées à poursuivre leur existence dans l'environnement de leur choix en améliorant leur qualité de vie et leur autonomie grâce aux innovations en ICT [7, 8]. Certaines sociétés prennent aussi cette initiative.

Cook et al [15] expliquent cet investissement par, d'une part, l'évolution démographique où il y a des plus en plus de personnes âgées, et d'autre part

leur envie de vivre le plus longtemps possible chez eux. Les systèmes de monitoring et d'assistance de soins leur permettraient de garder leur indépendance tout en améliorant leur qualité de vie. De plus, l'installation du système et de modification de la maison non seulement est plus rentable par rapport au coût des services de soins à domicile, mais aussi évite les hospitalisations, contribuant ainsi à des économies budgétaires.

Il en est de même pour les individus souffrant d'un handicap physique ou mental. L'environnement intelligent peut alors fournir des services qui leur permettent de se passer des aides soignants à domicile tout en veillant à sa santé, sa sécurité et son bien-être. Si le système détecte une situation anormale ou dangereuse, par exemple un four qui chauffe depuis un certain moment alors que l'occupant dort, il peut soit intervenir automatiquement, soit alerter l'occupant ou un service d'urgence. Une application de rappel peut avertir l'individu si le système détecte l'oubli d'une prise de médicament. Ou encore, l'environnement intelligent reconnaît les activités de l'utilisateur et peut interagir avec celui-ci pour lui rappeler une étape ou la séquence d'actions dans la tâche qu'il veut effectuer. Une autre application est capable de suivre les déplacements de l'individu et lui fournir un trajet vers un endroit sûr si il se perd.

5.2.2 Hôpitaux

Les applications d'Ambient Intelligence peuvent améliorer les services dans les hôpitaux aussi bien pour le bien-être des patients que pour l'efficacité des professionnels. Les patients peuvent bénéficier des technologies évoquées précédemment qui sont adaptées à leur chambre et à des zones de l'hôpital. De cette façon, le suivi du patient est assuré par les systèmes de monitoring de santé et des capteurs disposés dans sa chambre permettent d'évaluer ses progrès (par exemple, après une chirurgie). Cela améliore l'efficacité des professionnels qui peuvent surveiller l'état des patients et intervenir plus rapidement en cas de besoin. Des solutions d'Ambient Intelligence peuvent augmenter la sécurité de l'hôpital par exemple en permettant de retrouver l'accès à certaines pièces ou équipements pour certains patients ou membres du personnel [7].

L'environnement intelligent d'un Smart Hospital peut aussi aider à améliorer l'efficacité de l'hôpital par une planification et un guide des tournées des médecins [32]. Le système est configuré pour connaître le plan de l'hôpital et la topologie des salles d'examen, des chambres, des couloirs, des ascenseurs, etc. Les patients et le personnel soignant sont identifiés et localisés dans l'hôpital par des capteurs (par exemple, des dispositifs IR ou à ultrason [33]). Lors des tournées, les médecins sont guidés par un affichage ou des messages audio à travers une route optimisée qui peut se mettre à jour s'il y a une variation dans les conditions (par exemple, l'état d'un patient qui s'aggrave). Lorsqu'il y a une urgence pour un patient, le système avertit le médecin le plus proche et lui planifie le trajet le plus rapide et adapte l'environnement sur son chemin (par exemple, en appelant automatiquement un ascenseur à son étage). Le système peut être couplé au monitoring de santé pour rentrer en compte dans la planification des tournées.

Par ailleurs, d'autres technologies de l'Ambient Intelligence s'orientent vers le divertissement et la relaxation des patients. Cook et al donne l'exemple d'un hôpital à Chicago où un pavillon a été construit spécialement pour supporter une application d'Ambient Intelligence dans le but d'améliorer l'expérience du

patient [15]. Les patients disposent d'une carte RFID qui les identifie et retient leurs préférences. Lorsqu'un patient se rend dans certaines pièces, des projections d'images sur les murs, plafond ou salles d'examens ainsi que l'éclairage s'adaptent selon ses préférences pour l'aider à apaiser son anxiété. Les images projetées peuvent aussi l'aider à comprendre la procédure de l'examen. Par exemple, si un enfant doit retenir sa respiration, un avatar mime le geste.

5.3 Transports

Il existe déjà des systèmes de transport intelligents qui utilisent des technologies comme les services par satellite, la navigation GPS, l'identification de véhicule, le traitement d'image, etc, afin d'améliorer l'expérience de l'utilisateur. [7].

Cook et al [15] fournissent des exemples d'application en Ambient Intelligence pour le transport tel que le projet I-VAITS (In-Vehicle Ambient Intelligent Transport System) [34]. Le but de ce projet est d'améliorer le confort et la sécurité des voitures avec le concept de Ambient Intelligence pour véhicules en intégrant des capteurs et actionneurs qui communiquent avec le système de raisonnement. Le système permet d'analyser l'environnement intérieur (l'état de la voiture et des informations sur les conditions physiologiques et physiques du conducteur) et extérieur (conditions de la route, du trafic). Dès lors, le conducteur est assisté par le système qui analyse les risques (accidents, altération de l'état du conducteur) et exécute des actions appropriées à la situation.

Un autre exemple est le système construit par Pentland et Nissan Cambridge Basic Research qui est similaire au projet précédent. L'état du conducteur (position et mouvement des mains et pieds) est constamment surveillé pour que le système détecte très rapidement les actions de conduite via un Hidden Markov Model et réagisse de manière optimale à la situation en temps-réel.

Enfin, les services d'urgence peuvent profiter de l'Ambient Intelligence pour les aider à localiser et à planifier la route pour atteindre efficacement le lieu de l'accident en association avec des systèmes de gestion de trafic et de traitement d'image pour analyser les conditions de conduite ou l'état de la route (par exemple, la présence d'objets ou piétons sur la route).

5.4 Éducation

Une application de l'Ambient Intelligence dans l'éducation est la Smart Classroom. La Smart Classroom vise à améliorer l'expérience d'enseignement à l'intérieur ou à l'extérieur de la classe [7].

Par exemple, l'université de Tsinghua a développé la Open Class Room, basée sur un système multi-agent, qui est équipée de technologies comme le tableau blanc interactif, des caméras et des microphones [15, 3]. L'enseignant peut écrire sur le tableau numérique avec un stylet comme sur un tableau blanc traditionnel. Les caméras et les microphones permettent respectivement la reconnaissance de mouvement et la reconnaissance vocale ce qui permet d'interagir avec le tableau pour attirer l'attention ou pour afficher des informations supplémentaires. Les étudiants peuvent suivre une leçon dans la Smart Classroom et par vidéo à distance en direct ou en différé.

De plus, les étudiants à distance peuvent interagir vocalement avec un assistant virtuel via la reconnaissance et la synthèse vocale. Celui-ci peut aussi gérer la liste des étudiants connectés à la classe virtuelle et alerter lorsqu'il reconnaît une action d'un étudiant distant (par exemple, le fait qu'un étudiant quitte la classe). Le système peut reconnaître des contextes, via les capteurs audio et vidéo, et s'adapter en conséquence pour améliorer l'expérience de la leçon à distance. Par exemple, l'image cadre l'enseignant, le tableau et le reste de la classe lorsque celui-ci parle, alors que l'image s'agrandit sur le tableau quand il écrit.

5.5 Lieux de travail

L'Ambient Intelligence fournit un support pour améliorer l'efficacité et le rendement des employés sur le lieu de travail (workplace) [15, 36]. Un environnement de travail intelligent, comme le Smart Office, doit alors fournir des fonctionnalités typiques à l'Ambient Intelligence telles que les capacités à adapter l'environnement aux besoins des utilisateurs ; faciliter la prise de décision sur base d'observations passées ; assister et automatiser des tâches quotidiennes ; faciliter l'interaction par la reconnaissance vocale et de geste. Ramos et al définissent les Smart Offices en résumant les fonctionnalités attendues [36] :

"Smart Offices contribute to reduce the decision-cycle offering, for instance, connectivity where-ever the user is, aggregating the knowledge and information sources. Smart offices handle several devices that support everyday tasks. Smart offices may anticipate user intentions, doing tasks on his behalf, facilitating other tasks, etc."

Le projet Monica SmartOffice consiste à améliorer l'environnement avec plusieurs capteurs (des caméras et des microphones) et actionneurs (un projecteur vidéo et des hauts-parleurs) [15, 36]. Le système observe les utilisateurs par reconnaissance faciale, vocale et leurs gestes pour identifier leurs activités et ainsi anticiper les besoins et afficher les informations utiles et nécessaires.

En dehors du Smart Office, le secteur de la production est concerné aussi par l'Ambient Intelligence [15, 7]. Par exemple, l'efficacité du processus de production dans une usine peut être améliorée par son environnement intelligent en fonction de l'offre et de la demande. Des capteurs sont disposés à différentes sections de la chaîne de production pour fournir des données sur le processus de fabrication au système. Ce dernier raisonne sur ces données en combinaison avec les informations sur l'évolution de la demande pour aider et conseiller la société sur les décisions à prendre.

Un exemple de solution Ambient Intelligence dans ce domaine est le système MOSE qui peut suivre et améliorer le travail de production et les activités des employés via des capteurs RFID. Le système peut localiser chaque produit portant un tag RFID dans l'environnement et suivre le processus de production par les employés disposant de lecteur RFID. Dès lors, le système peut guider les travailleurs dans les tâches à effectuer sur chaque produit. De plus, les informations collectées peuvent être précieuses pour la société sur le plan économique.

5.6 Autres applications

D'autres domaines d'application de l'Ambient Intelligence peuvent être envisagés mais la liste fournie dans ce chapitre ne se veut pas exhaustive. Augusto et al citent aussi le domaine du divertissement et le supermarché intelligent. D'autre part, un musée enrichi par l'Ambient Intelligence peut offrir une nouvelle expérience aux visiteurs du musée intelligent.

5.6.1 Divertissement

Augusto et al mentionne que l'Ambient Intelligence peut contribuer au divertissement dans les maisons [7]. L'évolution des jeux ludiques de ces dernières années permet d'utiliser aussi plusieurs modalités d'interactions. L'expérience du joueur peut être augmentée par exemple en associant les plateformes de jeu modernes aux réseaux de l'environnement intelligent de la maison pour augmenter l'immersion du joueur.

5.6.2 Supermarché intelligent

Les supermarchés sont aussi intéressés par l'Ambient Intelligence pour améliorer l'expérience des clients [7]. Le supermarché du future, décrit par Wahlster [42], implique une interaction multimodale "homme-objet", un paradigme récent en interaction. En effet, dans ce type de solution d'Ambient Intelligence, les clients peuvent communiquer avec les objets de l'étagère vocalement, par les gestes et par haptique et obtenir un feedback visuel avec des informations projetées sur un écran. Par ailleurs, le système peut analyser leurs comportements dans le magasin, par exemple la manière dont le client choisit son article.

5.6.3 Guide de musée intelligent

Le musée est un environnement riche en information et intéressant pour les technologies de l'Ambient Intelligence pour procurer une expérience personnalisée aux visiteurs. Un agent intelligent peut jouer le rôle d'un guide pour accompagner l'utilisateur pendant sa visite et lui fournir des informations pertinentes sur l'objet qu'il observe.

Par exemple, le projet ARTIZT (*Ambient Intelligence Real-Time locating system museum guide over Zigbee Technology*) est un système de guide de musée qui utilise des techniques de l'Ambient Intelligence [21]. Des capteurs permettent au système de localiser et de suivre le visiteur dans le musée. Connaissant la position des objets dans l'environnement, le système est capable de reconnaître un contexte qui implique la localisation du visiteur, le thème de la salle, les objets autour du visiteur et les distances entre eux. Dès lors, l'action du système consiste à envoyer des informations utiles et personnalisées sur la Tablet du visiteur (fournie à l'entrée du musée) selon sa localisation et les objets d'intérêt à sa portée.

Pour détecter continuellement et avec précision la localisation du visiteur, ARTIZT utilise un réseau de capteurs sans fils qui connecte les tablets des utilisateurs à un système de localisation. Une fois la localisation connue, l'application installée sur les tablets sélectionne et affiche les informations pertinentes à la position de l'utilisateur.

Chapitre 6

Discussions

Contents

5.1	Smart Homes	42
5.2	Services de santé	43
	5.2.1 Monitoring et assistance de soins	43
	5.2.2 Hôpitaux	44
5.3	Transports	45
5.4	Éducation	45
5.5	Lieux de travail	46
5.6	Autres applications	47
	5.6.1 Divertissement	47
	5.6.2 Supermarché intelligent	47
	5.6.3 Guide de musée intelligent	47

Un des plus grands défis à relever pour l'Ambient Intelligence est de faire accepter cette nouvelle forme de technologie à la société [8]. Étant donné que les environnements intelligents sont témoins et assistants de la vie des utilisateurs, il est nécessaire d'en examiner les risques. Les problèmes de sécurité et de vie privée sont des sujets d'actualité dont l'Ambient Intelligence doit tenir compte pendant son développement et sont discutés à la section 6.1.

Les installations interactives sont des environnements plutôt similaires à l'Ambient Intelligence. Nous présentons l'une d'entre-elles : The Experience Cylinder. Un projet d'environnement virtuel peut simuler des techniques de l'Ambient Intelligence pour reconnaître le comportement de l'utilisateur. Nous explorons une solution possible à la section 6.2.

6.1 Implication dans la société

Le chapitre 5 montre que l'Ambient Intelligence peut améliorer la vie de l'utilisateur dans plusieurs espaces de vie comme la maison, les transports, le lieu de travail, etc. Malgré les nombreuses technologies réparties dans l'environnement, le système reste discret et assiste silencieusement l'utilisateur dans ses tâches quotidiennes. Cependant, l'Ambient Intelligence reste un système informatique qui n'est pas infaillible et est exposé aux mêmes problèmes que l'informatique actuelle. Augusto ajoute qu'il est même peu probable que le système fonctionne parfaitement étant donné la complexité de l'environnement [5].

De plus, l'environnement intelligent peut déranger l'utilisateur si par exemple : le système effectue une action indésirable ; nécessite une intervention corrective de l'utilisateur ; partage des informations personnelles, voire donne l'accès aux capteurs et aux données collectées, à des partis tiers [15]. D'autre part, certains types de capteur très efficaces, comme la caméra, sont très contestés par les utilisateurs [5]. Selon Cook, Augusto, et al, les environnements intelligents ont un impact sur la préservation de la vie privée et la fiabilité de la sécurité des informations personnelles [15, 5, 7].

6.1.1 Vie privée

L'Ambient Intelligence doit collecter beaucoup d'informations sur la vie de son utilisateur (ses préférences, habitudes, activités, relations sociales, etc) pour être capable de prédire ses besoins et permettre à l'environnement d'agir de manière adaptée et appropriée. On peut considérer que l'efficacité des services offerts par l'Ambient Intelligence est proportionnel au degré d'intimité que l'utilisateur concède à partager.

Cette approche a un impact sur la vie privée qui peut incommoder les gens qui doivent faire confiance à cette technologie. La protection de la vie privée est d'une importance primordiale à prendre en compte dans la conception de l'environnement intelligent pour augmenter l'acceptation des gens.

Par exemple, le choix des capteurs est un élément important en ce qui concerne la vie privée dans la question de la vie privée. Certains types de capteur (par exemple, la caméra) sont plus efficaces pour collecter des informations contextuelles qui seront utiles dans la suite du processus. Cependant, d'une part, l'installation de caméra dans certains lieux (par exemple, la salle de bain) peut incommoder l'utilisateur qui a le sentiment d'être surveillé à la "Big Brother" ;

d'autre part, ce type de capteur alimente la collection de données avec plus d'informations personnelles que nécessaire.

Dès lors, d'autres types de capteur "plus sûrs" peuvent remplacer l'utilisation de ces capteurs performants comme la caméra, qui sont alors réservés à des situations qui impliquent moins la vie privée. Cependant, la combinaison de plusieurs capteurs sûrs permet quand même de générer des informations personnelles très détaillées et donc présente autant de risque pour la vie privée.

À côté de cela, il y a un certain degré d'acceptation de partage de la vie privée qui dépend de l'individu selon ses valeurs et sa culture. Par exemple, certains ne voient aucun inconvénient à partager des informations personnelles, et d'autres concèdent une partie de leur vie privée en contre partie des avantages des services fournis.

Augusto suggère de concevoir le système en environnement intelligent avec la capacité de s'adapter aux différents besoins de vie privée des utilisateurs [7]. Ou alors, selon la situation et le but de l'utilisateur, le système analyse la nécessité et la quantité d'informations personnelles à collecter pour accomplir l'objectif de l'utilisateur [15].

6.1.2 Sécurité

Étant donné la sensibilité des informations manipulées dans les processus de l'Ambient Intelligence, la sécurité du système doit être rigoureusement étudiée lors de la conception. Le réseau des capteurs doit assurer la fiabilité et la sécurité des capteurs (l'installation, la gestion d'erreur) et des communications (canal protégé) [15]. Il est nécessaire aussi de protéger les données par des techniques de chiffrement tout en tenant compte des ressources utilisées.

En effet, les méthodes de raisonnement minent la collection de données collectées depuis les capteurs afin d'identifier et de reconnaître nos comportements [5]. Une "fuite" de cette base de connaissance peut nous exposer à des risques si les informations tombent entre de mauvaises mains.

Par ailleurs, il est important de déterminer la visibilité et les autorisations d'accès aux informations lorsque plusieurs parties prenantes sont impliqués dans l'environnement intelligent [7]. Par exemple, dans des espaces publics comme les bureaux, les hôpitaux, les musées, etc. enrichis par l'Ambient Intelligence, les personnes et les organisations sont impliquées, mais il y a aussi d'autres acteurs comme les administrateurs du système et les opérateurs des capteurs.

De plus, dans les environnements intelligents publics, l'exploitation des ressources communes doit être gérée. Par exemple, Augusto [7] mentionne les "free riders", des utilisateurs qui profitent gratuitement des ressources publiques de manière excessive et qui peuvent donc limiter la disponibilité des services aux autres utilisateurs. Des mécanismes sont nécessaires pour donner la priorité d'accès aux ressources à un groupe réduit lorsqu'une situation importante l'exige.

6.2 Ambient Intelligence et Installations Interactives

Les installations interactives sont des espaces fermés contenant des capteurs et des périphériques d'affichage et de sons. Ces installations définissent des en-

vironnements très réactifs où l'interaction est naturelle grâce notamment à des capteurs de sons et de détection de mouvement (généralement des caméras). L'infrastructure permet de construire une réalité virtuelle où l'utilisateur vit une expérience très immersive.

Il existe plusieurs définitions de ce concept selon l'orientation des projets. Par exemple, le populaire CaveUT [23] est défini comme une "installation de réalité virtuelle immersive" alors que le projet KidsRoom est un "espace interactif et immersif basé sur la perception" [11]. Ces environnements se caractérisent par un environnement très réactif où l'utilisateur perçoit distinctement les réponses à ses comportements [24]. Pour cela, les capteurs peuvent mesurer de nombreux aspects de l'utilisateur comme sa taille, sa posture, ses mouvements, sa position, son visage, sa voix, etc.

Les installations interactives partagent plusieurs caractéristiques communes avec l'Ambient Intelligence. Nous pouvons simuler des environnements réels comme un musée dans une installation interactive où l'utilisateur peut interagir avec les objets virtuels et déclencher certaines actions par son comportement. De plus, il est possible d'augmenter les possibilités de réaction en utilisant des techniques d'Intelligence Artificielle. D'une certaine manière, nous pouvons tester des techniques de l'Ambient Intelligence utilisées pour des environnements intelligents en réalité virtuelle.

Nous présentons une installation interactive, The Experience Cylinder, développée au Danemark . Ce projet peut être considéré comme une "sandbox" étant donné la multitude d'applications possibles à développer dans cet environnement immersif. Par exemple, dans la suite nous présentons un projet de story-board interactif et immersif qui peut être enrichi en Intelligence Artificielle pour s'adapter automatiquement au comportement de l'utilisateur.

6.2.1 The Experience Cylinder

"The Experience Cylinder" est un projet interdisciplinaire né en 2010-2011 de la collaboration entre l'Université de Roskilde et le musée des bateaux vikings à Roskilde (Roskilde Viking Ship Museum) [2].

Ce projet est une installation interactive aménagée dans le laboratoire "Experience Lab", dans le département CBIT (Communication Business and IT) de l'Université de Roskilde. Afin de procurer la meilleure expérience interactive à l'utilisateur, l'installation (figure 6.1) est constituée d'un écran cylindrique formé par un rideau de trois mètres de hauteur et de six mètres de diamètre. L'affichage en 360 degrés à l'intérieur du cylindre est composé par six projecteurs placés au plafond de manière stratégique de façon à juxtaposer les six images projetées. Six enceintes entourent le cylindre de l'extérieur afin de fournir un son directionnel. Un périphérique de capture de mouvement, la Kinect de Microsoft, est fixé au plafond et positionné au centre du cylindre afin de scanner le maximum d'espace au sein du cylindre. Enfin, le tout est relié à une seule station de travail. Bien entendu, l'ordinateur comporte aussi un clavier et une souris pour utiliser le système d'exploitation, Microsoft Windows 7.

Le but premier de ce projet était de raconter l'histoire du voyage du drakkar viking "The Sea Stallion" [40], en 2007-2008, depuis Roskilde jusqu'à Dublin et son retour (le projet "Havhingsten") . L'installation du cylindre a fourni une plateforme interactive originale permettant à l'utilisateur de revivre ce périple. Ainsi, l'utilisateur est entouré des images et vidéos du voyage, et peut interagir

avec son environnement en se déplaçant à l'intérieur du cylindre car un comportement est attaché à chaque média. Par exemple, une vidéo se déclenche lorsque l'utilisateur s'en approche, une image s'agrandit, un bruitage de la mer traverse le cylindre, etc.

Par la suite, d'autres projets informatiques ont été réalisés par des étudiants dans le cadre de leur mémoire, comme le développement par exemple de jeux vidéo immersifs en 3D ; ou encore l'application RUC 3D (Roskilde University Center), une reproduction en 3D du campus de l'Université de Roskilde où l'utilisateur peut s'y balader virtuellement ; et prochainement : VALS (Virtually augmented physical learning spaces), qui propose notamment une simulation des salles de classe et d'étude de l'Université [41].

Le développement du cylindre d'expérience implique de nombreux défis techniques. En effet, pour que les six images projetées donnent l'illusion d'une seule image continue sur un écran 360 degrés, il est non seulement nécessaire de régler minutieusement la position des projecteurs, mais il faut aussi ajuster la résolution d'affichage globale et corriger la concavité de chaque image. De plus, les applications doivent tenir compte de l'angle de vue de l'utilisateur par rapport à sa position dans le cylindre. A ces difficultés viennent s'ajouter notamment la programmation du son 3D, le calcul de la position exacte de l'utilisateur, comment déplacer facilement ce type d'installation, trouver le financement,...

Dès lors, ce laboratoire d'expérience implique, en plus d'étudiants, de nombreux professionnels de diverses disciplines : des professeurs en communication, des chercheurs en sciences informatiques, des designers graphistes, des programmeurs, des ingénieurs du son, des architectes,... dans le but de développer, d'améliorer et d'étendre les domaines d'utilisation.

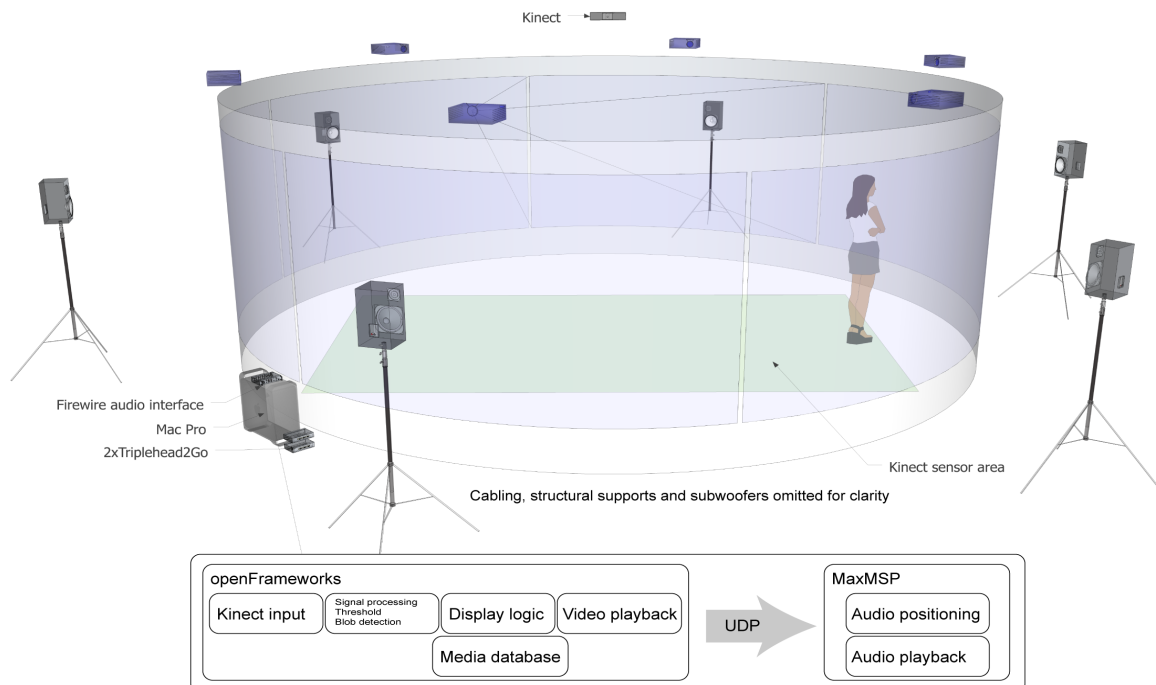


Fig. 6.1 – Infrastructure de l’installation du Experience Cylinder. [2]

6.2.2 Le projet Havhingsten

L’objectif du projet Havhingsten est de présenter interactivement le voyage du drakkar The Sea Stallion effectué en 2007-2008 ainsi que le contexte historique de l’ère des vikings au Danemark et en Irlande. Les nombreuses photos, vidéos et les sons capturés pendant le voyage sont exposés à la façon d’une story-board qui est projetée sur les parois à l’intérieur du cylindre (Experience Cylinder) [2]. Afin de rendre l’expérience plus immersive, des effets de son et des animations sont joués en arrière plan pour simuler les conditions en mer pendant ce voyage.

Les objets (images, vidéos, informations historiques) sont affichés chronologiquement de sorte que l’utilisateur peut revivre le voyage en suivant un circuit dans le sens horloger à l’intérieur du cylindre. Le visiteur se tient au départ du circuit (depuis le port de Roskilde) à la position de 0 degré ; après un parcours de 180 degrés, il se trouve au port de Dublin ; enfin, sa visite s’achève sur le retour du drakkar au port de Roskilde en effectuant les derniers 180 degrés.

Lors de son passage, les objets affichés en face de lui s’animent en réponse à ses mouvements. Par exemple, une vidéo se déclenche, un groupe d’images s’agrandit, un texte se déroule. De plus, les effets sonores et visuels en arrière plan simulent les réelles conditions météorologiques de la traversée en lien avec les images situées à la position du visiteur.

De plus, pendant sa visite, l’utilisateur peut obtenir des informations supplémentaires sur la trame en face de lui en s’approchant de l’objet affiché. Cela a pour effet de

déclencher une modification de l'arrangement des objets pour laisser place à de nouvelles informations. Un scénario d'exemple : si l'utilisateur s'approche d'une image où on voit un des marins qui hisse la voile sur le drakkar, alors l'image s'agrandit et un cadre de texte se déploie en fournissant des informations sur la fabrication de la voile à l'époque des Vikings.

6.2.3 Implémentation

Le projet est développé en C++ et est basé sur OpenFrameworks [31]. Ce dernier est un framework open-source écrit en C++ fournissant les fondations de base et les outils nécessaires afin de développer facilement des applications interactives. Le framework est disponible sous forme de projet de programmation pour l'IDE CodeBlocks (utilisé pour notre application) ou Visual Studio 2010.

En résumé, OpenFrameworks fournit une large bibliothèque d'objets graphiques et de fonctions pour aider le développeur dans ses créations. Il y a 4 types de fonctions principales que nous pouvons remplir avec nos instructions :

setup() Cette fonction n'est exécutée qu'une fois à l'initialisation du programme. C'est ici que nous écrivons nos variables d'environnement et paramètres à initialiser (par exemple, la taille de notre fenêtre).

update() et draw() Ces fonctions sont exécutées en boucle à la vitesse de l'horloge du processeur et permettent respectivement de mettre à jour l'état de notre programme, puis de dessiner nos objets.

KeyPressed(int key), ... Une série de fonctions permettent de gérer les périphériques en Input et les événements. Par exemple, KeyPressed permet de coder les instructions à effectuer lorsqu'une certaine touche du clavier est pressée (l'argument définit un identifiant d'une touche).

Par défaut, le framework gère uniquement les périphériques écran, clavier et souris, mais plusieurs plugins sont développés par la communauté de openFrameworks pour la compatibilité avec d'autres périphériques.

L'application Havhingsten utilise des plugins pour exploiter les données collectées par la Kinect et un module qui gère l'affichage pour abstraire la configuration complexe des 6 projecteurs. En plus des routines de base pour son exécution, le programme intègre essentiellement : un ensemble d'algorithmes pour contrôler l'animation des objets ; une large bibliothèque de fichiers avec différents formats (textes, photos, vidéos et sons du voyage) ; un ensemble de structures de donnée pour représenter les objets ; et un fichier au format XML qui encode la configuration du programme.

6.2.4 Méthodes de raisonnement

Les installations interactives sont principalement caractérisées par un environnement virtuel et immersif qui répond en temps-réel au comportement de l'utilisateur. Nous pouvons augmenter l'expérience immersive par des techniques d'Intelligence Artificielles dans le but de personnaliser l'expérience de l'utilisateur.

Par exemple, dans le projet Havhingsten, nous pourrions envisager une animation où l'environnement s'adapte à l'utilisateur selon ses préférences pour certains aspects de la visite. L'environnement pourrait se métamorphoser pour présenter uniquement des informations qui intéressent l'utilisateur. Pour ce faire,

l'environnement doit être en mesure de reconnaître le comportement de l'utilisateur et enregistrer ses activités.

Scénario

Pour illustrer cette approche, nous nous inspirons des recherches de Christiansen sur l'élaboration du *iiCHR* (interactive installation Constraint Handling Rules) [14], une extension du CHR basé sur Prolog qui permet d'inférer des bases de connaissances dans des installations interactives. Son article illustre l'utilisation du *iiCHR* dans le scénario d'un musée d'art interactif qui fournit un service pour conseiller les visiteurs de manière personnalisée en analysant leurs préférences.

Tout d'abord, pour pouvoir reconnaître ce qui intéresse l'individu, nous ajoutons un système de "tag" à la représentation des données des objets afin d'identifier un ensemble d'aspects communs entre eux. Dès lors, chaque objet peut posséder un ou plusieurs tags. Par exemple, les images qui illustrent l'amarrage du drakkar dans les différentes étapes du voyage portent le tag "amarrage".

Ensuite, le comportement de l'utilisateur est analysé afin d'établir des contextes sur base de sa position et du temps. La position de l'utilisateur permet non seulement de déterminer l'objet qu'il regarde, mais aussi l'intérêt qu'il porte à l'objet selon la distance qui les sépare (i.e. s'il s'approche ou non de l'objet). Pendant que l'utilisateur s'approche d'un objet, le temps est chronométré. De plus, chaque tag possède un compteur qui est incrémenté par le nombre de visite.

Dès lors, les informations obtenues sont directement inférées pour établir un degré d'affinité à chaque tag qui rentre alors en compétition pendant un temps limité. Le résultat modifie l'affichage avec des nouveaux objets puisés dans la bibliothèque de média du voyage qui portent le tag vainqueur.

Proposition de solution

Nous pouvons réaliser cette approche de raisonnement avec Prolog. La difficulté est la compatibilité entre Prolog et l'application en C++. SWI-Prolog nous fournit une documentation pour utiliser un moteur logique Prolog au sein d'un programme en C, ce qui nous permet de construire une interface en C++ qui simplifie les appels Prolog. Nous proposons donc une interface C++/Prolog afin d'être en mesure de construire des prédicats, d'effectuer des requêtes Prolog et d'extraire les solutions depuis le code écrit en C++.

Voici un exemple très simple de son utilisation où nous calculons le maximum entre deux valeurs :

```
PLQuery q("max", 3);          // crée un prédicat "max" d'arité 3
int nb1 = 2;
int nb2 = 5;
int sol = 0;
q.add_arg(nb1);                // ajoute le premier argument
q.add_arg(nb2);                // ajoute le second argument
q.add_arg(PLVar());            // ajoute le troisième argument
PLEngine::executeQuery(q);     // envoie la requête Prolog max(2,5,X)
q.get_solution(&sol);           // récupère la solution
```

Dès lors, nous pouvons utiliser ce moteur de raisonnement au sein de l'application Havhingsten en adaptant le code source du programme et en créant les règles Prolog appropriée. Cependant, la tâche est complexe étant donné le framework qui impose une boucle d'exécution principale. De plus, bien que l'interface C++/Prolog autorise de nouvelles fonctionnalités, elle est limitée et ne permet d'exécuter pas des requêtes Prolog complexes.

Une autre solution possible à explorer est l'utilisation d'un Middleware, mais alors il faut abandonner openFramework qui facilite la programmation de l'interaction. Un service serait alors dédié au raisonnement par cette méthode. Cette approche permet aussi de greffer d'autres services pour effectuer d'autres traitements et notamment de faciliter la communication avec les périphériques.

Conclusion

Les concepts essentiels tels que le Disappearing Computer, l'Ubiquitous/Pervasive Computing, et le Context-Awareness permettent de comprendre l'émergence de l'Ambient Intelligence depuis différents domaines des sciences informatiques. Dès lors, les réseaux de capteurs et d'actionneur fournissent la capacité de sentir et d'agir sur l'environnement. Les apports dans le domaine des interactions homme-machine facilitent la communication avec l'utilisateur. Les technologies réseaux et Middleware sont des membres indispensables pour faciliter le traitement du flux des informations. Sans les techniques d'Intelligence Artificielle et de Machine Learning, l'Ambient Intelligence n'aurait pas la capacité d'agir de manière appropriée et de prédire les besoins pour assister dans les tâches.

Le processus principal de l'Ambient Intelligence consiste à : sentir, raisonner, agir. Les capteurs récoltent toutes des données sur l'état de l'environnement. Ces données brutes sont d'abord traitées à la couche Middleware pour en retirer des informations contextuelles. Ces dernières sont minées pour identifier des activités et ensuite traitées par des techniques d'Intelligence Artificielle et de Machine Learning. Ces traitements permettent de reconnaître l'activité avec une base de connaissances et de prédire les futures actions à décider et planifier. L'environnement est donc prêt à agir, via des robots par exemple, pour aider l'utilisateur sans son intervention. Ce dernier peut aussi interagir avec le système par les gestes ou vocalement.

Les tâches décrites précédemment facilitent la conception de l'architecture par un modèle qui met en relation les technologies de l'Ambient Intelligence. La plupart des Middleware actuels suffisent à cette approche et facilitent la communication entre le système et les différents capteurs en traitant le large flux de données. Le Middleware donne un aspect dynamique au système où des périphériques ou des services peuvent s'ajouter, se retirer ou se remplacer.

Les techniques en Intelligence Artificielle et Machine Learning ont pour objectifs de reconnaître le contexte, identifier des activités pour reconnaître des tâches et prédire les actions à prendre. Le raisonnement est complexe étant donné la multitude de situations possibles à reconnaître ou à apprendre. De plus, certains comportements sont habituels alors que parfois d'autres sont anormaux. Un mécanisme est nécessaire pour discerner le type de comportement que le système doit prendre en compte.

Il existe beaucoup de domaines d'application du Ambient Intelligence, en espace fermé ou ouvert. Les environnements intelligents peuvent aider les utilisateurs aussi bien chez eux que dans les transports et sur le lieu de travail. L'Ambient Intelligence peut améliorer la qualité de vie des personnes âgées et des personnes infirmes, qui peuvent alors vivre sans dépendre d'une assistance de santé.

Pour conclure, l'Ambient Intelligence doit tenir compte des risques pour la vie privée et la sécurité. En effet, le système s'intègre dans notre intimité et enregistre nos comportements. Les impacts sur notre vie privée sont très importants et exigent un système fiable et sécurisé. Enfin, un autre type d'approche semblable à l'Ambient Intelligence vise les installations interactives. Nous avons démontré à travers un exemple simple qu'il était possible de simuler un environnement intelligent.

Bibliographie

- [1] AAL-EUROPE. *Ambient Assisted Living Joint Programme - ICT for ageing well*, (accédé le 20-août-2014). 2014. URL : <http://www.aal-europe.eu/about/objectives/>.
- [2] Troels ANDREASEN et al. "The Experience Cylinder, an immersive interactive platform". In : *AMBIENT 2011, The First International Conference on Ambient Computing, Applications, Services and Technologies*. Sous la dir. de Rémi EMONET et Adina Magda FLOREA. ThinkMind, 2011.
- [3] Juan Carlos AUGUSTO. "Ambient intelligence : Opportunities and consequences of its use in smart classrooms". In : *Innovation in Teaching and Learning in Information and Computer Sciences* 8.2 (2009), p. 53–63.
- [4] Juan Carlos AUGUSTO. "Ambient intelligence : the confluence of ubiquitous/pervasive computing and artificial intelligence". In : *Intelligent Computing Everywhere*. Springer, 2007, p. 213–234.
- [5] Juan Carlos AUGUSTO. "Past, Present and Future of Ambient Intelligence and Smart Environments". In : *ICAART*. Sous la dir. de Joaquim FILIPE, Ana L. N. FRED et Bernadette SHARP. INSTICC Press, 2009, p. 11–18. ISBN : 978-989-8111-66-1.
- [6] Juan Carlos AUGUSTO et Paul McCULLAGH. "Ambient intelligence : Concepts and applications". In : *Computer Science and Information Systems/ComSIS* 4.1 (2007), p. 1–26.
- [7] JuanC AUGUSTO et al. "Intelligent Environments : a manifesto". English. In : *Human-centric Computing and Information Sciences* 3.1, 12 (2013). DOI : 10.1186/2192-1962-3-12. URL : <http://dx.doi.org/10.1186/2192-1962-3-12>.
- [8] JuanCarlos AUGUSTO, Hideyuki NAKASHIMA et Hamid AGHAJAN. "Ambient Intelligence and Smart Environments : A State of the Art". In : *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Sous la dir. d'Hideyuki NAKASHIMA, Hamid AGHAJAN et JuanCarlos AUGUSTO. Springer US, 2010, p. 3–31. ISBN : 978-0-387-93807-3. DOI : 10.1007/978-0-387-93808-0_1. URL : http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-93808-0_1.
- [9] Asier AZTIRIA, Alberto IZAGUIRRE et Juan Carlos AUGUSTO. "Learning Patterns in Ambient Intelligence Environments : A Survey". In : *Artif. Intell. Rev.* 34.1 (juin 2010), p. 35–51. ISSN : 0269-2821. DOI : 10.1007/s10462-010-9160-3. URL : <http://dx.doi.org/10.1007/s10462-010-9160-3>.

- [10] David BARBER. *Bayesian Reasoning and Machine Learning*. New York, NY, USA : Cambridge University Press, 2012. ISBN : 0521518148, 9780521518147.
- [11] Aaron BOBICK et al. “The KidsRoom : A perceptually-based interactive and immersive story environment”. In : *Presence : Teleoperators and Virtual Environments* 8.4 (1996), p. 367–391.
- [12] J. BOHN et al. “Social, Economic, and Ethical Implications of Ambient Intelligence and Ubiquitous Computing”. English. In : *Ambient Intelligence*. Sous la dir. de Werner WEBER, JanM. RABAEY et Emile AARTS. Springer Berlin Heidelberg, 2005, p. 5–29. ISBN : 978-3-540-23867-6. DOI : 10.1007/3-540-27139-2_2. URL : http://dx.doi.org/10.1007/3-540-27139-2_2.
- [13] Andreas BUTZ. “User Interfaces and HCI for Ambient Intelligence and Smart Environments”. In : *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Sous la dir. d’Hideyuki NAKASHIMA, Hamid K. AGHAJAN et Juan Carlos AUGUSTO. Springer, 2010, p. 535–558. ISBN : 978-0-387-93807-3.
- [14] Henning CHRISTIANSEN. “An adaptation of Constraint Handling Rules for Interactive and Intelligent Installations”. In : *CHR 2012—Proceedings of the 9th International Workshop on Constraint Handling Rules*. 2012, p. 1.
- [15] Diane J. COOK, Juan Carlos AUGUSTO et Vikramaditya R. JAKKULA. “Ambient intelligence : Technologies, applications, and opportunities”. In : *Pervasive and Mobile Computing* 5.4 (2009), p. 277–298.
- [16] Diane J. COOK et Sajal K. DAS. “How Smart Are Our Environments? An Updated Look at the State of the Art”. In : *Pervasive Mob. Comput.* 3.2 (mar. 2007), p. 53–73. ISSN : 1574-1192. DOI : 10.1016/j.pmcj.2006.12.001. URL : <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmcj.2006.12.001>.
- [17] Diane J. COOK et al. “MavHome : An Agent-Based Smart Home”. In : *PerCom*. IEEE Computer Society, 2003, p. 521–524.
- [18] Sajal K. DAS et al. “The role of prediction algorithms in the MavHome smart home architecture”. In : *IEEE Wireless Commun.* 9.6 (2002), p. 77–84.
- [19] Teresa DILLON. “Pervasive and ubiquitous computing”. In : *Futurelab* (fév. 2006).
- [20] Alfonso GÁRATE, Nati HERRASTI et Antonio LÓPEZ. “GENIO : An Ambient Intelligence Application in Home Automation and Entertainment Environment”. In : *Proceedings of the 2005 Joint Conference on Smart Objects and Ambient Intelligence : Innovative Context-aware Services : Usages and Technologies*. sOc-EUSAI ’05. Grenoble, France : ACM, 2005, p. 241–245. ISBN : 1-59593-304-2. DOI : 10.1145/1107548.1107609. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1107548.1107609>.
- [21] Óscar GARCÍA et al. “ARTIZT : Applying Ambient Intelligence to a Museum Guide Scenario”. In : *ISAmI*. Sous la dir. de Paulo NOVAIS, Davy PREUVENEERS et Juan M. CORCHADO. T. 92. Advances in Intelligent and Soft Computing. Springer, 2011, p. 173–180. ISBN : 978-3-642-19936-3.

- [22] Hans W. GUESGEN et Stephen MARSLAND. “Spatio-Temporal Reasoning and Context Awareness”. In : *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Sous la dir. d’Hideyuki NAKASHIMA, Hamid K. AGHAJAN et Juan Carlos AUGUSTO. Springer, 2010, p. 609–634. ISBN : 978-0-387-93807-3.
- [23] Jeffrey JACOBSON et al. “The CaveUT system : immersive entertainment based on a game engine”. In : *Proceedings of the 2005 ACM SIGCHI International Conference on Advances in computer entertainment technology*. ACE ’05. Valencia, Spain : ACM, 2005, p. 184–187. ISBN : 1-59593-110-4. DOI : 10.1145/1178477.1178503. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1178477.1178503>.
- [24] Myron W. KRUEGER. “Responsive environments”. In : *Proceedings of the June 13-16, 1977, national computer conference*. AFIPS ’77. Dallas, Texas : ACM, 1977, p. 423–433. DOI : 10.1145/1499402.1499476. URL : <http://doi.acm.org/10.1145/1499402.1499476>.
- [25] Sanjiang LI et Mingsheng YING. “Region Connection Calculus : Its Models and Composition Table”. In : *Artif. Intell.* 145.1-2 (avr. 2003), p. 121–146. ISSN : 0004-3702. DOI : 10.1016/S0004-3702(02)00372-7. URL : [http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702\(02\)00372-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702(02)00372-7).
- [26] Ramón LÓPEZ-CÓZAR et Zoraida CALLEJAS. “Multimodal Dialogue for Ambient Intelligence and Smart Environments”. In : *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Sous la dir. d’Hideyuki NAKASHIMA, Hamid K. AGHAJAN et Juan Carlos AUGUSTO. Springer, 2010, p. 559–579. ISBN : 978-0-387-93807-3.
- [27] Edith MAIER et Guido KEMPTER. “ALADIN - a Magic Lamp for the Elderly ?” In : *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Sous la dir. d’Hideyuki NAKASHIMA, Hamid K. AGHAJAN et Juan Carlos AUGUSTO. Springer, 2010, p. 1201–1227. ISBN : 978-0-387-93807-3.
- [28] Stephen MARSLAND. *Machine Learning - An Algorithmic Perspective*. Chapman and Hall / CRC machine learning and pattern recognition series. CRC Press, 2009, p. I–XVI, 1–390. ISBN : 978-1-4200-6718-7.
- [29] *Measurement Specialties company*. (accédé le 10-07-2014). 2014. URL : <http://www.meas-spec.com/>.
- [30] Hideyuki NAKASHIMA, Hamid K. AGHAJAN et Juan Carlos AUGUSTO, édés. *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Springer, 2010. ISBN : 978-0-387-93807-3.
- [31] OPENFRAMEWORKS. *openFrameworks is an open source C++ toolkit for creative coding*, (accédé le 20-août-2014). 2014. URL : <http://www.openframeworks.cc/about/>.
- [32] Susanna PIRTTIKANGAS, Yoshito TOBE et Niwat THEPVILOJANAPONG. “Smart Environments for Occupancy Sensing and Services”. In : *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Sous la dir. d’Hideyuki NAKASHIMA, Hamid K. AGHAJAN et Juan Carlos AUGUSTO. Springer, 2010, p. 825–849. ISBN : 978-0-387-93807-3.

- [33] Susanna PIRTTIKANGAS, Yoshito TOBE et Niwat THEPVILOJANAPONG. “Smart Environments for Occupancy Sensing and Services”. In : *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Sous la dir. d’Hideyuki NAKASHIMA, Hamid K. AGHAJAN et Juan Carlos AUGUSTO. Springer, 2010, p. 825–849. ISBN : 978-0-387-93807-3.
- [34] A RAKOTONIRAINY et R. TAY. “In-vehicle ambient intelligent transport systems (I-VAITS) : towards an integrated research”. In : *Intelligent Transportation Systems, 2004. Proceedings. The 7th International IEEE Conference on*. 2004, p. 648–651. DOI : 10.1109/ITSC.2004.1398977.
- [35] Carlos RAMOS, Juan Carlos AUGUSTO et Daniel SHAPIRO. “Ambient intelligence—The next step for artificial intelligence”. In : *Intelligent Systems, IEEE* 23.2 (2008), p. 15–18.
- [36] Carlos RAMOS et al. “Smart Offices and Intelligent Decision Rooms”. In : *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Sous la dir. d’Hideyuki NAKASHIMA, Hamid K. AGHAJAN et Juan Carlos AUGUSTO. Springer, 2010, p. 851–880. ISBN : 978-0-387-93807-3.
- [37] Stuart RUSSELL et Peter NORVIG. *Artificial Intelligence : A Modern Approach*. 3rd. Upper Saddle River, NJ, USA : Prentice Hall Press, 2009. ISBN : 0136042597, 9780136042594.
- [38] Gregor SCHIELE, Marcus HANDTE et Christian BECKER. “Pervasive Computing Middleware”. In : *Handbook of Ambient Intelligence and Smart Environments*. Sous la dir. d’Hideyuki NAKASHIMA, Hamid K. AGHAJAN et Juan Carlos AUGUSTO. Springer, 2010, p. 201–227. ISBN : 978-0-387-93807-3.
- [39] B. SCHILIT, N. ADAMS et R. WANT. “Context-Aware Computing Applications”. In : *Mobile Computing Systems and Applications, 1994. WMCSA 1994. First Workshop on*. 1994, p. 85–90. DOI : 10.1109/WMCSA.1994.16.
- [40] Roskilde THE VIKING SHIP MUSEUM. *Learn about the Sea Stallion and the Viking Age*, (accédé le 20-août-2014). 2014. URL : <http://www.vikingeskibsmuseet.dk/en/the-sea-stallion-past-and-present/>.
- [41] *Virtually augmented physical learning spaces (VALS)*. 2014. URL : <http://experientcelab.ruc.dk/blog/archives/1001>.
- [42] Wolfgang WAHLSTER et al. “The Shopping Experience of Tomorrow : Human-Centered and Resource-Adaptive”. In : *Resource-Adaptive Cognitive Processes*. Sous la dir. de Matthew W. CROCKER et Jörg H. SIEKMANN. Cognitive Technologies. Springer, 2011, p. 205–237. ISBN : 978-3-540-89407-0.
- [43] M. WEISER. “Ubiquitous Computing”. In : *Computer* 26.10 (oct. 1993), p. 71–72. ISSN : 0018-9162. DOI : 10.1109/2.237456. URL : <http://dx.doi.org/10.1109/2.237456>.
- [44] Mark WEISER. “The computer for the 21st century”. In : *Scientific american* 265.3 (1991), p. 94–104.
- [45] Mark WEISER, Rich GOLD et John Seely BROWN. “The origins of ubiquitous computing research at PARC in the late 1980s”. In : *IBM systems journal* 38.4 (1999), p. 693–696.

- [46] WIKIVERSITÉ. *Topologie générale/Espace topologique* — Wikiversité, (accédé le 10-août-2014). 2014. URL : http://fr.wikiversity.org/w/index.php?title=Topologie_g%C3%A9n%C3%A9rale/Espace_topologique&oldid=435146.